MODUL
BAHAN AJAR CETAK
FARMASI

ANATOMI FISIOLOGI MANUSIA

» Raimundus Chalik

DAFTAR ISI

BAB I
HOMEOSTASIS SEL, JARINGAN, ORGAN

Raimundus Chaliks, S.Si. M.Sc. Apt.

PENDAHULUAN

Homeostasis ini sangat penting karena sel dan jaringan tubuh hanya akan tetap hidup dan dapat berfungsi secara efisien ketika kondisi internal ini dipertahankan dengan baik. Semua sistem organ bekerja dengan cara saling bergantung untuk mempertahankan homeostasis. Sebagai contoh perubahan pada satu sistem cenderung untuk mempengaruhi satu sistem atau lebih sistem tubuh lainnya.

Dalam bab 1 ini Anda akan mempelajari tentang tubuh manusia terdiri dari sel, jaringan, organ, dan sistem organ. Organ-organ tubuh diatur dalam kelompok fungsional sehingga fungsi mereka dikoordinasi untuk melakukan fungsi sistem tertentu. Bentuk yang terkoordinasi ini, kelompok fungsional disebut sebagai sistem organ. Sistem saraf dan pencernaan adalah contoh dari sistem organ.

Dalam bab 1 ini terdapat 2 topik yang akan dibahas, yaitu: Konsep homeostasis dan aplikasinya dalam farmasi, serta Anatomi fisiologi sel sel, jaringan, organ, dan sistem organ.

Setelah Anda mempelajari materi dalam bab 1 ini dengan sungguh-sungguh, di akhir proses pembelajaran, Anda diharapkan akan dapat menjelaskan tentang: Konsep homeostasis dan aplikasinya dalam farmasi, Anatomi fisiologi sel, jaringan, organ, dan sistem organ.

Untuk membantu proses belajar mandiri Anda, materi dalam bab 1 ini dikemas dalam 2 (dua) topik, yaitu:

- Topik 1. Konsep Homeostasis dan Aplikasinya Dalam Farmasi,
- Topik 2. Anatomi Fisiologi Sel, Jaringan, Organ, dan Sistem Organ

Topik 1
Homeostasis

Tubuh kita merupakan suatu sistem yang terorganisir dan memiliki sistem pengaturan yang selalu saling berkoordinasi untuk mempertahankan kondisi tubuh agar selalu dalam keadaan stabil secara fisiologi. Jika terjadi gangguan secara fisiologi maka tubuh akan selalu merespon dan berusaha untuk dapat mengembalikan ke keaadaan normal melalui suatu mekanisme umpan balik negatif dan positif. Sebagai contoh jika tekanan darah kita turun, maka reseptor sensorik akan mengirimkan sinyal ke pusat kontrol di otak. Pusat kontrol ini akan mengirikan sinyal saraf ke dinding arteri untuk berkontriksi. Ketika tekanan darah naik sistem ini diaktivasi. Konsep ini dikenal dengan istilah homeostasis. Anda sudah mempunyai sedikit gambaran bukan? Untuk lebih jelasnya mari mempelajari uraian materi di bawah ini

A. HOMEOSTASIS

Agar tubuh dapat berfungsi secara optimal, kondisi di dalam tubuh yang disebut sebagai lingkungan internal (CES; cairan ekstrasel) harus diatur dengan sangat hati-hati. Oleh karena itu beberapa variabel penting, seperti suhu tubuh, tekanan darah, kandungan oksigen dan karbon dioksida dari darah, juga keseimbangan elektrolit secara aktif dipertahankan dalam batas fisiologi yang sempit.

Kemampuan sistem fisiologi tubuh untuk mempertahankan keadaan di dalam tubuh yang relatif konstan disebut homeostatis. Homeostatis (*homeo* artinya "yang sama"; *statis* artinya "berdiri atau diam"). Istilah homeostatis diperkenalkan pertama kali oleh W.B.Cannon untuk menjelaskan berbagai proses fisiologik yang berfungsi untuk memulihkan keadaan normal setelah terjadi gangguan. Homeostasis ini sangat penting karena sel dan jaringan tubuh hanya akan tetap hidup dan dapat berfungsi secara efisien ketika kondisi internal ini dipertahankan dengan baik. Ini tidak dapat dikatakan bahwa lingkungan internal bersifat tetap dan tidak berubah. Tubuh selalu dihadapkan dengan perubahan lingkungan eksternal serta kegiatan dan aktivitas yang terjadi di dalam tubuh yang dapat merubah keseimbangan dari beberapa varibel penting. Sebagai contoh, sebagian besar reaksi metabolik di dalam sel kita membutuhkan oksigen dan glukosa. Senyawa ini kemudian harus diganti. Selain itu, reaksi ini menghasilkan limbah metabolik termasuk karbondioksida dan urea yang kemudian harus dikeluarkan dari tubuh. Oleh karena itu, lebih tepat dikatakan bahwa lingkungan internal dalam keadaan dinamis yang stabil, yang terus berubah, tetapi dimana kondisi optimal dipertahankan secara fisiologis. Semua sistem organ dalam tubuh, kecuali sistem reproduksi, berkontribusi dalam mempertahankan homeostasis (lihat Tabel 1.1). Sebagai contoh, saluran pencernaan mencerna makanan untuk memberikan nutrisi bagi tubuh. Sistem pernapasan memperoleh oksigen dan mengeluarkan karbon dioksida. Sistem sirkulasi mengangkut semua zat-zat satu bagian ke bagian tubuh lainnya. Sistem renal menegeluarkan limbah dan berperan dalam mengatur volume dan tekanan darah.

Tabel 1.1
Peran sistem organ dalam mempertahankan homeostasis

Sistem Organ	Fungsi
Sistem Saraf	Mengatur aktivitas muskuler dan sekresi kelenjar
Sistem Endokrin	Mengatur proses metabolik melalui sekresi hormon
Sistem Muskuler	Berperan dalam menggerakkan tubuh dan terhadap termoregulator
Sistem Sirkulasi	Mengangkut nutrien, oksigen, zat yang sudah tidak dibutuhkan tubuh,
Sistem Respirasi	Mengambil oksigen dan mengeluarkan karbondioksida, mengatur keseimbangan asam basa (pH)
Sistem Gastrointestinal	Mencerna dan menyerap makanan untuk memberikan nutrisi kepada tubuh
Sistem Renal	Mengeluarkan senyawa-senyawa, produk yang sudah tidak dibutuhkan oleh tubuh, mengatur volume dan tekanan darah, mengatur keseimbangan asam basa (pH)

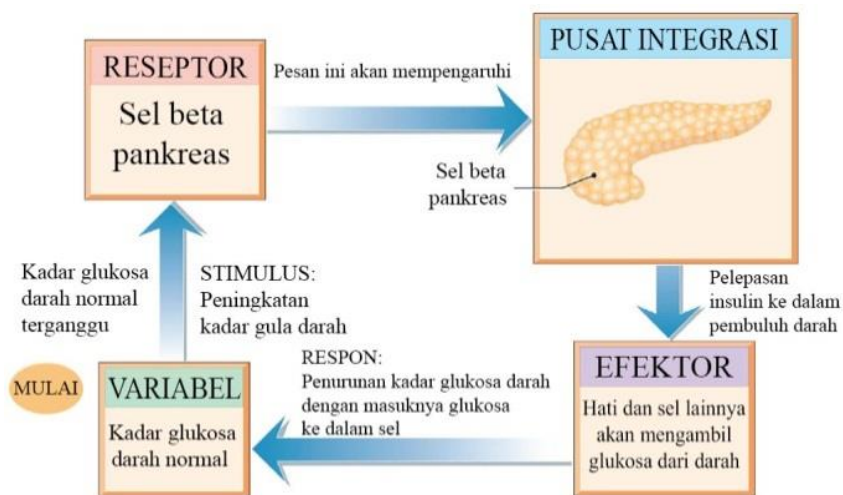
Mempelajari fisiologi tidak hanya mencakup kajian tentang bagaimana masing-masing sistem melakukan fungsinya, tetapi juga mekanisme yang terlibat yang mengatur kegiatan ini dalam mempertahankan homeostasis dalam berbagai kondisi. Sebagai contoh, kebutuhan tubuh sangat berbeda selama kondisi istirahat dibandingkan dengan latihan. Bagaimana sistem organ menyesuaikan aktifitasnya dalam respon terhadap tingkat aktivitas fisik yang atau ketika dihadapkan dengan perubahan lingkungan internal dan eksternal? Dalam mempertahankan homeostasis, tubuh harus mampu memantau dan merasakan perubahan dalam lingkunagan internal Kedua, harus mampu mengimbangi, atau melakukan penyesuaian,untuk perubahan ini. Ada dua sistem pengaturan dalam tubuh yang mempengaruhi aktivitas dari semua sistem organ lainnya sehingga homeostasis akhirnya dipertahankan, yaitu sistem saraf dan endokrin.

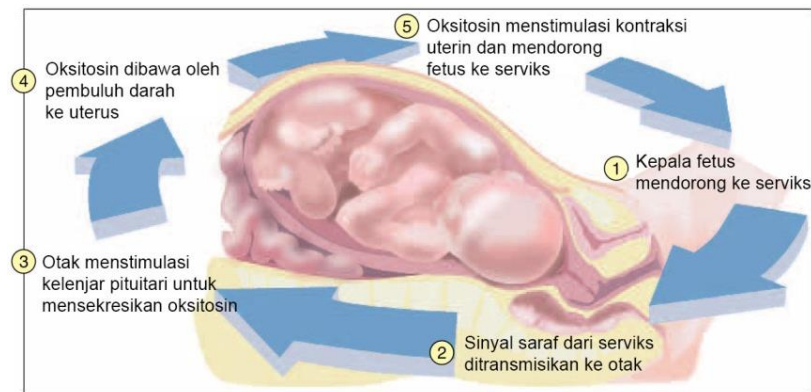
Sistem kontrol homeostatik dikelompokkan menjadi 2 kelas-kontrol yaitu

1. Kontrol intrinsik (lokal) terdapat di dalam dan inherent bagi organ tersebut. Contohnya ketika otot sedang beraktivitas yang tinggi dan menggunakan oksigen yang tinggi pula, maka kadar oksigen akan turun. Perubahan kimia lokal pada otot akan menyebakan pembuluh darah bervasodilatasi dan meningkatkan aliran darah ke otot sehingga kadar oksigen meningkat pula.

2. Kontrol ekstrinsik, sebagian besar kontrol homeostatik dipertahankan dengan kontrol ini, mekanisme regulasi dimulai di luar suatu organ untuk menggubah aktivitas organ tersebut, mekanisme ini dilakukan oleh sistem saraf dan endokrin. Contohnya mekanisme untuk memulihkan tekanan darah ke tingkat yang sesuai. Dimana organ yang bekerja adalah sistem saraf jantung dan pembuluh darah di seluruh tubuh.

   Mekanisme kontrol homeostatik bekerja berdasarkan prinsip umpan balik. Ada dua jenis umpan balik yaitu:

- Umpan balik negatif *(negative feedback)*, pada umpan balik negatif perubahan suatu faktor dikontrol secara homeostatis akan memicu respon yang berupaya untuk memulihkan faktor tersebut ke normal dengan menggerakkan faktor ke arah yang berlawanan dari perubahan awalnya. Contoh umpan balik negatif dapat dlihat pada gambar di bawah ini:

Gambar 1.
Mekanisme umpan balik negatif yang mengaturkadar glukosa darah

Umpan balik positif *(positive feedback)*, pada umpan balik positif perubahan pada variabel terkontrol memicu respon yang mendorong ke arah yang sama seperti awal perubahan sehingga perubahan semakin kuat. Umpan balik positif lebih jarang terjadi, namun umpan balik ini juga berperan penting dalam keadaan tertentu, misalnya pelepasan oksitosin yang semakin banyak dengan semakin besarnya tekanan pada serviks.

Gambar 2.
Mekanisme umpan balik positif pada partus

Aplikasi Farmasi

Fungsi Homeostatik dari Obat

Penyakit umumnya dibagi menjadi dua kategori: di mana patofisiologi melibatkan kegagalan internal beberapa proses fisiologis normal dan ini berasal dari beberapa sumber eksternal seperti infeksi bakteri atau virus. Dalam kasus kedua, individu tidak dapat dapat mempertahankan homeostasis, dan satu atau lebih variabel dalam lingkungan internal akan terganggu. Akibatnya, fungsi jaringan atau organ terganggu. Oleh karena itu, banyak obat-obatan saat ini digunakan dirancang untuk membantu tubuh dalam mempertahankan homeostasis ketika tubuh gagal dalam melakukan mekanisme pengaturan sendiri. Sebagai contoh, angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibitor, seperti enalapril, dan beta-blockers, seperti propanolol, menurunkan tekanan darah pada pasien dengan hipertensi idiopatik. Hiperglikemia pada pasien dengan diabetes melitus tipe 1. Suntikan insulin memungkinkan sel pasien untuk mengambil dan menyimpan glukosa, yang secara efektif menurunkan glukosa darah ke kisaran normal. Diuretik, seperti furosemid, mengurangi volume darah sehingga mengurangi beban kerja jantung pada pasien dengan gagal jantung kongestif. Dalam setiap gangguan ini, intervensi farmakologi diperlukan untuk membuat sistem organ dapat berfungsi secara efisien dan efektif mempertahankan kesehatan pasien.

RINGKASAN

Homeostasis ini sangat penting karena sel dan jaringan tubuh hanya akan tetap hidup dan dapat berfungsi secara efisien ketika kondisi internal ini dipertahankan dengan baik. Proses dan aktivitas yang membantu untuk mempertahankan homeostasis disebut mekanisme homeostatik. Sel bekerja dengan baik ketika lingkungan di dalamnya tetap dalam keadaan stabil. Jika keseimbangan tidak dapat dipertahankan maka tubuh tidak akan dapat berfungsi secara efektif dan dapat mengalami gannguan atau sakit. Mekanisme kontrol homeostatik bekerja berdasarkan prinsip umpan balik. Ada dua jenis umpan balik yaitu negatif dan positif.

Kebanyakan mekanisme homeostatik dijalankan oleh tubuh melalui umpan bailik negatif. Namun umpan balik positif juga berperan penting dalam keadaan tertentu, misalnya pelepasan oksitosin yang semakin banyak dengan semakin besarnya tekanan pada serviks. Contoh dari umapan balik negatif yaitu pelepasan insulin ke dalam darah ketika kadar glukosa darah dalam tubuh meningkat.

Aplikasi homeostatis dalam bidang farmasi dapat dicontohkan misalnya penggunaan obat-obatan dalam mempertahankan atau menormalkan kembali fungsi tubuh sehingga tubuh dapat menjalankan fungsinya secara efektif ketika individu tidak dapat mempertahankan homeostasis, dan satu atau lebih variabel dalam lingkungan internal akan terganggu. Akibatnya, fungsi jaringan atau organ terganggu. Penggunaan obat antihipertensi seperti enalapril untuk menurunkan dan mempertahankan tekanan darah ke kisaran normal, penggunaan insulin untuk menurunkan glukosa dan mempertahankan glukosa darah ke kisaran normal.

TES 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Lingkungan internal di dalam tubuh adalah
   A. Cairan intrasel
   B. Cairan ekstrasel
   C. Cairan eksudat
   D. Sel
   E. Jaringan

2) Fungsi sistem endokrin
   A. Mengatur aktivitas muskuler dan sekresi kelenjar
   B. Mencerna dan menyerap makanan untuk memberikan nutrisi kepada tubuh
   C. Berperan dalam menggerakkan tubuh dan terhadap termoregulator
   D. Mengangkut nutrien, oksigen, zat yang sudah tidak dibutuhkan tubuh
   E. Mengatur proses metabolik melalui sekresi hormon

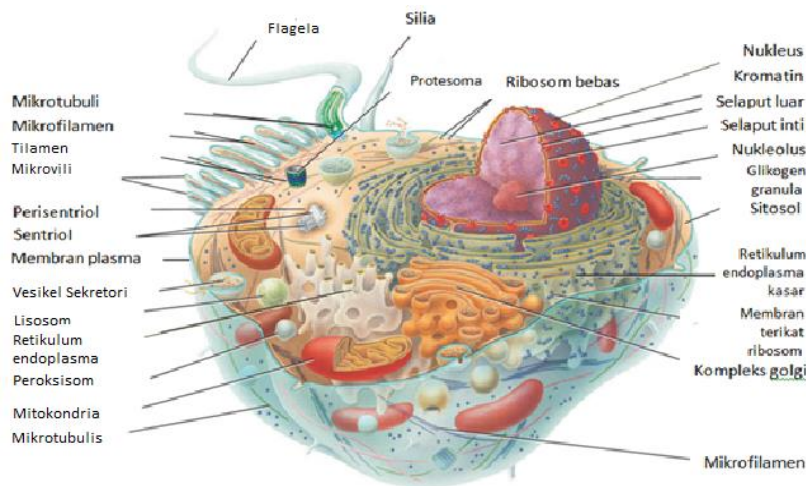
3) Contoh mekanisme umpan balik negatif
   A. Produksi saliva
   B. Pengaturan kadar glukosa darah
   C. Partus
   D. Pembekuan darah
   E. Pencernaan protein di lambung.

4) Contoh mekanisme umpan balik positif
   A. Pelepasan hormon TSH
   B. Pelepasan hormon ADH
   C. Pengaturan temperatur
   D. Partus
   E. Pengaturan air dan mineral

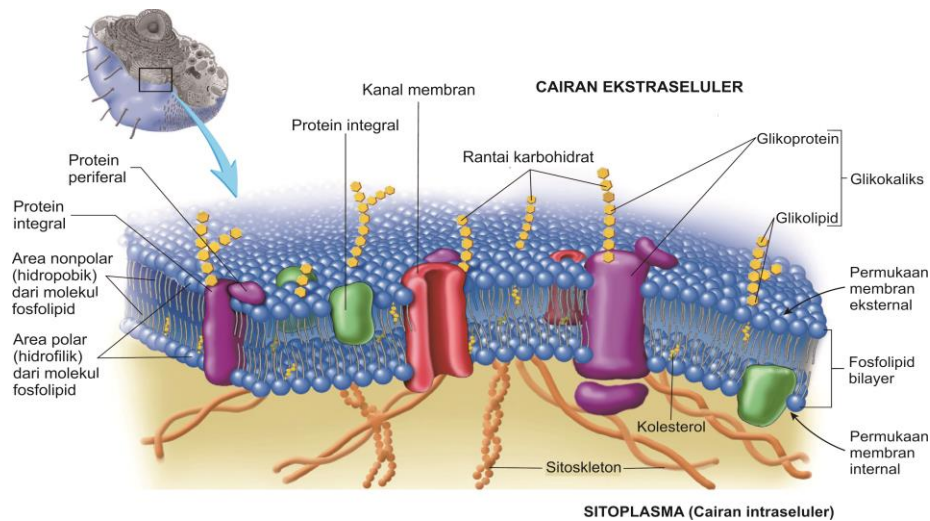
5) Contoh penggunaan obat untuk mempertahankan homeostatik dalam pengaturan kadar glukosa darah
   A. Enalapril
   B. Propanolol
   C. Insulin
   D. Furosemid
   E. Valsartan

Topik 2
S e l

Sel adalah unit struktural dan fungsional terkecil dari tubuh (gambar 1). Sel dapat memperbanyak diri. Tubuh manusia mengandung sekitar 100 triliun sel. Berbagai tipe sel tubuh memiliki fitur yang membedakan satu tipe dari yang lain dan secara khusus disesuaikan untuk melakukan fungsi tertentu, misalnya sel darah merah mengangkut oksigen dari paru-paru ke jaringan, sel otot khusus untuk fungsi kontraksi. Sebuah sel yang khas, seperti yang terlihat oleh mikroskop cahaya, terdiri dari tiga komponen dasar:

- Membran sel
- Sitoplasma dan
- Nukleus

Gambar 1.1
Sel dan bagian - bagianya

A. MEMBRAN SEL

Sel kita dikelilingi oleh membran sel (membran plasma) pada bagian terluar (gambar 2). Membran sel yang memgelilingi sel dan menjaganya mengatur apa yang masuk dan keluar sel. Membran sel memisahkan bagian dalam sel (sitoplasma) dan bagian luar. Integritas membran sel adalah sangat penting untuk kehidupan sel. Membran sel adalah suatu bilayer fosfolipid yang disebut sebagai permeabel atau permeabel selektif, karena dia melewatkan molekul-molekul tertentu untuk masuk ke sel tetapi tidak untuk yang lainnya. Molekul fosfolipid memiliki bagian kepala yang bersifat polar dan ekor yang bersifat nonpolar. Protein yang ada pada membran sel memainkan penting untuk lewatnya suatu senyawa masuk ke sel.

Gambar 2.1
Membran sel

B. SITOPLASMA

Sitoplasma adalah bagian dari sel antara nukleus dan membran plasma. Matriks dari sitoplasma adalah medium semicair yang mengndung air dan berbagai tipe molekul yang terlarut dalam medium. Sitoplasma mengandung berbagai organel. Setiap tipe organel mempunyai fungsi yang spesifik. Misalnya satu tipe organel mengangkut senyawa dan yang lainnya menghasilkan ATP untuk sel. Sel juga mempunyai sitoskleton. Elemen dari sitoskleton mempertahankan bentuk sel dan memungkinkan sel untuk bergerak. Beberapa sel dengan menggunakan silia dan flagella yang tersusun dari mikrotubuli.

C. NUKLEUS

Nukleus adalah sruktur utama dalam sel manusia. Nukleus sangat penting karena menyimpan informasi genetik yang menentukan karakteristik dari sel tubuh dan fungsi metabolik. Komposisi kimia yang unik dari setiap DNA seseorang adalah dasar untuk sidik jari DNA. Semua sel mempunyai paling sedikit 1 nukleus. Sel lainnya seperti sel otot rangka mempunyai nukleus lebih dari 1. Nukleus meimiliki ukuran yang relatif besar. Bodi berbentuk bulat yang umumnya terletak dekat dengan pusat sel, nukleus mengandung material genetik dari sel. Dia ditutupi oleh lapisan ganda membran nukleat yang memisahkan sitoplasma dari nukleoplasma (bagian cairan yang ada dalam nukleus). Nukleolus berada di dalam nukleus. Fungsi nukleolus adalah untuk menyalin DNA menjadi RNA ribosom dan merakit rRNA penting karena rRNA membuat ribosom yang beranggung jawab untuk sintesis protein dalam sel

1. Organel Sitoplasma

Organel sitolasma adalah organel kecil yang ada dalam sitoplasma sel. Setiap tipe organel memunyai struktur dan peranan yang spesifik dalm fungsi sel.

a. Mitokondria

Mitokondria adalah tempat respirasi utama untuk aerobik. Memiliki struktur oval yang memanjang. Membran bagian dalam terlipat untuk membentuk laci-laci kecil yang disebut *cristae* yang mana terproyeksikan ke dalam matriks. Mitokondria sering disebut sebagai powerhouse dan membantu untuk menghasilkan energi untuk sel. Sel yang memerlukan sedikit energi untuk melaksanakan fungsinya seperti sel lemak memiliki sedikit mitokondria, sedangkan sel yang meggunakan energi yang banyak seperti sel otot dan hati memiliki banyak mitokondria.

b. Ribosom

Ribosom terdiri dari dua subunit, subunit besar dan subunit kecil. Setiap subunit memiliki protein dan rRNA. Ribosom ditemukan secara bebas dalam sitoplasma. Ribosom melekat pada permukaan luar retikulum endoplasma. Ribosom terdiri dari asam ribonukleat yang berfungsi dalam sintesis protein dalam sel.

c. Retikulum endoplasma

Retikulum endoplasma adalah sistem kompleks dari kanal membran yang membentang di seluruh sitoplasma. Membran yang saling berhubungan membentuk kantung datar yang berisi cairan dan kanal tubular yang disebut *cistenae*. Membran dihubungkan ke lapisan terluar membran nuklear, ke lapisan dalam membran sel, dan organel-organel tertentu lainnya. Retikulum endoplasma memberikan jalur untuk mengangkut material dari satu sel ke yang lainnya. Beberapa membran dari retikulum endoplasma memiliki ribosom granular yang melekat pada permukaan terluar yang disebut *rough endoplasmic reticulum* (RER) yang berfungsi untuk sintesis dan transpor protein yang dibuat oleh ribosom melalui sitoplasma ke aparatus Golgi. Jadi RER khususnya dikembangkan dalam sel yang aktif dalam sintesis protein seperti Russell's bodies dari sel plasma, Granul Nissl dari sel saraf, dan sel acinar pankreas. Bagian lainnya yang tidak memiliki ribosom dan tampak halus disebut *smooth endoplasmic reticulum* (SER) dan berfungsi sebagai tempat untuk sintesis lipid, steroid (termasuk hormon seks). Banyak ditemukan pada sel Leydig dan sel koreks adrenal. Dalam otot rangka dan otot jantung, SER termodifikasi untuk membentuk retikulum sarkoplasma yang mana terlibat dalam pelepasan ion kalsium selama kontraksi otot.

d. Aparatus Golgi

Aparatus golgi dinamai sesuai dengan penemunya yaitu Camillo Golgi yang menemukan aparatus tersebut dalam sel di tahun 1898. Organel ini tampak sebagai tumpukan kantung membran yang datar yang biasanya terletak dekat nukleus dan terhubungkan ke retikulum endoplasma. Aparatus Golgi khususnya dkembangkan dalam sel

kelenjar eksokrin. Organel ini memodifikasi dan menyortir protein yang disintesis pada RER dan mengemasnya ke dalam vesikel sekretori untuk dilepaskan ke luar sel. Seperti vesikel yang ditemukan dalam kelenjar endokrin tertentu, dimana protein hormon dilepaskan ke dalam cairan ekstrasel untuk memodifikasi aktivitas sel lainnya. Vesikel lainnya yang meninggalkan aparatus Golgi adalah lisosom.

e. Lisosom

Lisosom dibentuk oleh aparatus golgi. Lisosom adalah vesikel kecil yang mengandung enzim pencernaan hidrolitik. Enzim digunakan untuk mencerna:

1) Bakteri yang masuk ke dalam sel
2) Bagian sel yang perlu pergantian
3) Keseluruhan sel yang sudah rusak

Lisosom utamanya banyak ditemukan dalam sel yang terlibat dalam aktivitas fagositik, seperti neutrofil dan makrofag

f. Peroksisom

Peroksisom adalah membran yang terikat vesikel yang bentuknya lebih kecil dari lisosom sehingga juga dikenal sebagai mikrobodi, yang banyak terdapat pada sel epitel hepatosit dan tubular. Seperti halnya mitokondria, peroksisom mengkomsumsi oksigen molekuler walaupun dalam jumlah yang lebih kecil. Oksigen ini tidak digunakan dalam konversi energi menjadi ATP. Peroksisom mengandung enzim *oxidases* yang mengoksidasi asam lemak. Hasil dari hidrolisis ini adalah hidrogen peroksida (H_2O_2). Peroksisom juga mengandung enzim *catalase*, yang beraksi pada hidrogen peroksida membeaskan oksigen dan air. Fungsi enzim peroksisom adalah untuk detoksifikasi obat, alkohol, dan toksin potensial lainnya. Sel yang aktif dalam detoksifikasi seperti sel hati dan ginjal memilki banyak peroksisom karena organ-organ ini membantu untuk membersihkan darah

g. Sitoksleton

Sitoksleton adalah sistem kompleks dari serat yang mempertahankan struktur dari sel dan memungkinkannya untuk mengubah bentuk dan bergerak. Sitoksleton juga memainkan peranan penting dalam interaksi otot. Sitoskleton tersusun dari protein mikrofilamen dan mikrotubuli. Mikrofilamen berbentuk panjang, batang ramping dari protein yag mendukung penonjolan kecil dari membran sel yang disebut mikrovili. Mikrotubuli adalah silinder tipis lebih besar dari mikrofilamen, tersusun dari protein tubuli. Mikrotubuli juga ditemukan dalam sentriol, silia, dan flagela. Silia dan flagela terdapat di permukaan sel tertentu (spermatozoa, mukosa respiratori dan tuba pallofi)

h. Sentriol

Sentriol adalah struktur bebentuk silinder yang terdiri dari sembilan triplet mikrotubuli dan memainkan peranan penting dalam pembelahan sel untuk membentuk spindel dan asters. Sepasang sentriol dapat ditemukan di dalam struktur yan disebut sentrosom.

i. Silia

Silia dan flagela adalah penonjolan dari sel yang dapat bergerak baik seperti gelombang, cambuk, atau kaku. Silia lebih pendek dari flagela. Sel yang memiliki organel ini dapat bergerak sendiri atau memindahkan material sepanjang permukaan sel. Misalnya sel sperma, bergerak berenang dengan flagela untuk membawa material genetik ke sel telur. Sel pada dinding saluran pernapasan kita adalah bersilia. Silia menyapu kotoran yang terperangkap dalam mukus kembali kerongkongan dan aksi ini membantu menjaga paru-paru kita tetap bersih. Dalam tuba uterus perempuan, sel bersilia menggerakkan ovum ke uterus, dimana ovum yang dibuahi tumbuh dan berkembang. Silia menggerakkan partikel kecil melintasi permukaan sel, sedangkan flagela menggerakkan seluruh sel. Kedduanya silia dan flagela mengandung mikrotubuli yang berasal dari sentriol.

j. Mikrovili

Mikrovili adalah perpanjangan dari membran sel yang bentuknya lebih kecil dan jumlahnya lebih banyak dari silia. Mikrovili tidak bergerak seperti halnya silia dan flagela, tetapi meningkatkan luas permukaan membran sel sehingga menyerap material lebih banyak. Mikrovili banyak ditemukan pada permukaan bebas dari sel dinding usus, ginjal dan area absorpsi lainnya. Normalnya setiap sel memiliki banyak mikrovili.

2. Mekanisme Transpor Melintasi Membran Sel

Aktivitas fisiologi dari sel bergantung pada senyawa seperti nutrient, oksigen, dan air yang mana harus ditransfor ke dalam sel dan pada waktu yang sama sampah metabolik harus diangkut ke luar dari sel. Dalam kondisi volume sel tetap tidak berubah. Karena sifat permeabilitas dari membran plasma dan kemampuannya untuk mentransfor molekul secara selektif, sel dapat tetap mempertahankan homeostasis. Ruptur dari membran, perubahan sifat permeabilitasnya, atau penghambatan proses transpor dapat mengganggu perbedaan konsentrasi nornal di sepanjang membran sel sehingga menyebabkan sel mati. Molekul dan ion dapat melewati membran plasma dalam beberapa cara, bergantung pada sifat kimia dan struktur dan fungsi sel. Mekanisme transpor melintasi membran sel dapat terjadi secara pasif dan aktif.

a. Transpor Pasif

Transpor pasif mengacu kepada mengacu transpor senyawa sepanjang gradien tanpa membutuhkan energi. Mekanisme ini bergantung pada faktor fisika seperi gradien konsentrasi, gradien elektrik, dan gradien tekanan. Karena transpor senyawa terjadi sepanjang gradien, proses ini disebut juga pergerakan menurun *(down-hill movement)*. Terdapat tiga tipe utama transpor pasif, yaitu difusi, osmosis, dan filtrasi.

b. Difusi

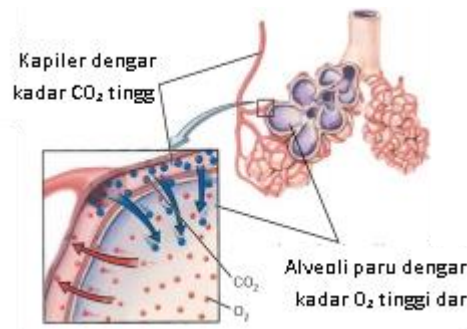
Difusi mengacu kepada pergerakan atom, ion atau molekul dari area dengan konsentrasi tinggi ke area dengan konsentrasi rendah. Difusi melalui membran sel terbagi ke dalam dua tipe, yaitu difusi sederhana dan difusi terfasilitasi.

c. Difusi Sederhana

Difusi sederhana adalah gerakan acak dari suatu atom atau molekul dengan konsentrasi tinggi ke area dengan konsentrasi rendah sampai terdisdistribusi secara merata. Sebagai ilustrasi, bayangkanlah Anda meletakkan zat warna ke dalam air, dimana air akhirnya mengambil warna dari zat warna sebagai molekul yang berdifusi (gambar 3).

Gambar 3

Contoh difusi. Setetes tinta secara berangsur terlarut dalam beaker air, molekul tinta berdifusi dari area dengan konsentrasi tinggi ke area area konsentrasi rendah

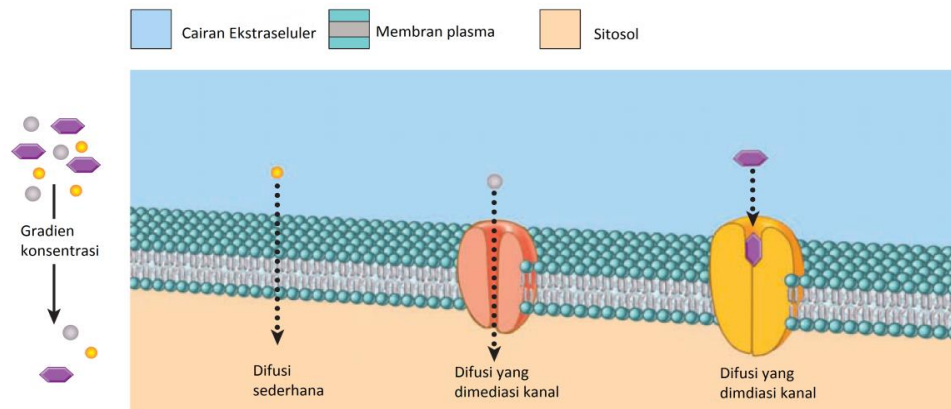
Sifat fisika dan kimia dari membran plasma memungkinkan hanya sedikit tipe molekulyang dapat masuk dan keluar dari sel oleh difusi sederhanan. Jika suatu senyawa dapat larut dalam lipid seperti vitamin ADEK, dan partikel kecil maka mereka dapat berdifusi melintasi membran sepanjang gradien konsentrasi (gambar 2). Oksigen, dan karbondioksida juga dapat larut dalam lipid sehingga mereka dapat berdifusi melintasi membran sel. Oksigen masuk ke sel dan karbondioksida keluar sel. Contoh yang paling tepat untuk ini yaitu petukaran gas yang terjadi di paru-paru. Dalam contoh ini cermatilah pergerakan oksigen dari paru ke pembuluh darah. Ketika kita menarik napas, oksigen mengisi kantung udara kecil (alveoli) yang ada dalam paru-paru kita (gambar 4). Di satu sisi ada kapiler paru yang mengandung sel darah merah dengan kandungan oksigen yang sedikit. Disini oksigen akan berdifusi dari area dengan konsentrasi tinggi ke area dengan konsentrasi rendah, yaitu pertama melalui sel alveolar, kemudian sel kapiler paru, dan terakhir ke dalam sel darah merah. Disisi lain karbondioksida yang konsentrasinya tinggi di dalam sel akan berdifusi dari jaringn sel ke darah dan selanjutnya ke kantung udara paru.

Gambar 4
Difusi oksigen dan CO2 di paru. Oksigen bergerak dari konsentrasi tinggi di paru ke konsentrasi yanglebih rendah di kapiler. Karbondioksida bergerak dalam arah yang berlawanan

d. Difusi Terfasilitasi

Suatu tipe difusi yang melibatkan molekul karier (pembawa). Molekul yang larut air, seperti glukosa dan gula lainnya, beberapa asam amino, vitamin yang larut air, dan ion tidak dapat ditranspor secara difusi sederhana karena mereka tidak dapat larut dalam fosfolipid. Untuk dapat berdifusi melintasi membran mereka: berikatan dengan protein karier pada membran atau bergerak melalui protein kanal. Protein karier adalah protein membran yang secara fisik melekat pada membran dan menagngkut senyawa spesifik melintasi membran plasma, ini berarti bahwa satu tipe prtein karier hanya dapat berikatan dengansatu tipe senyawa. Sebagai contoh molekul glukosa berikatan dengan protein karier spesifik dalam membran sel. Penggabungan ini menjadikannya dapat larut dalam lipid sehingga dapat berdifusi melintasi membran sel. Ketika mencapai bagian dalam sel, molekul glukosa dilepaskan dan protein karier mengangkut glukosa yang lainnya lagi dan membawanya melintasi membran. Tipe tansfor ini disebut difusi yang dimediasi karier. Difusi yang dimediasi karier dibatasi oleh jumlah protein karier yang ada, sehingga pada tingkat tertentu dapat terjadi saturasi. Terdapat tiga tipe sistem protei karier yang dikenal: uniport, simport dan antiport. Simpor dan antipor dikenal sebagai kotranspor.

1) Unipor : dalam sistem ini protein karier mentranspor hanya satu tipe molekul
2) Simpor : dalam sistem ini transpor satu senyawa digandengkan dengan senyawa lainnya dalam arah yang sama. Misalnya difusi terfasilitasi dari glukosa dalam sel tubuli renal yang bergandengan dengan transpor ion natrium
3) Antipor : dalam sistem ini protein karier menukar satu senyawa untuk yang lainnya. Misalnya pertukaran Na^+-K^+ atau Na^+-H^+ dalam tubuli renal. Dalam contoh ini terjadi pertukaran ion dalam arah yang berlawanan.

Selain pelintasan molekul pada membran dengan bantuan protein karier, molekul yang larut air juga dapat melintasi membran melalui protein kanal. Protein kanal mentransfor senyawa-senyawa, umumnya ion atau air melalui kanal berair dari satu sisi membran ke sisi

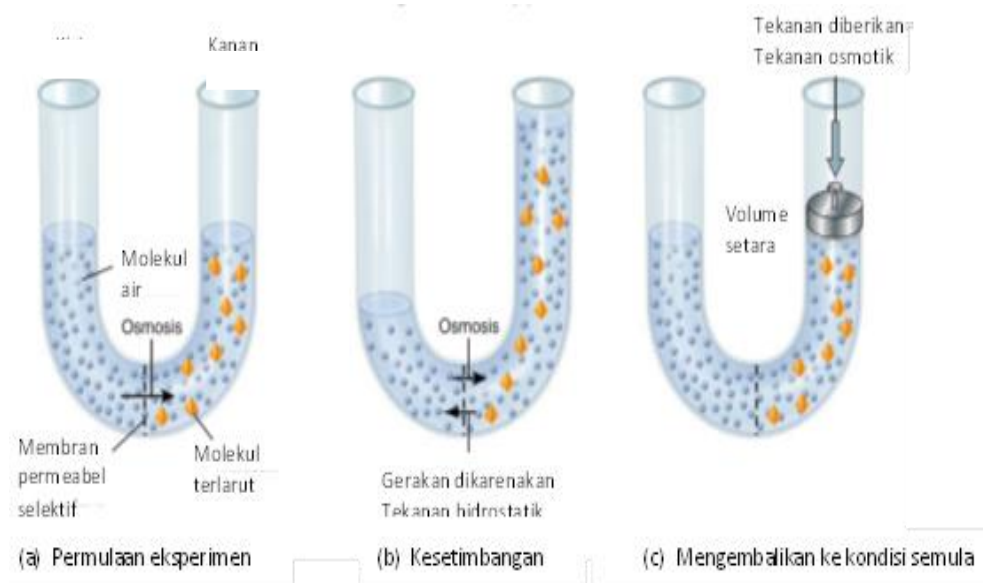
lainnya. Kanal sangat selektif karena ukuran porinya dan adanya asam amino bermuatan pada dinding kanal. *Leakage channel* selalu terbuka dan dengan mudah memungkinkan ion atau air untuk bergerak sesuai gradien konsentrasinya. *Gated channel* selalu terkontrol (terbuka atau tertutup) oleh sinyal kimia atau elektrik. Seperti halnya karier kanal juga dapat dihambat oleh molekul tertentu sehingga terjadi kejenuhan.

Gambar 5
Difusi terfasilitasi (Tortora dan Derrickson, 2009)

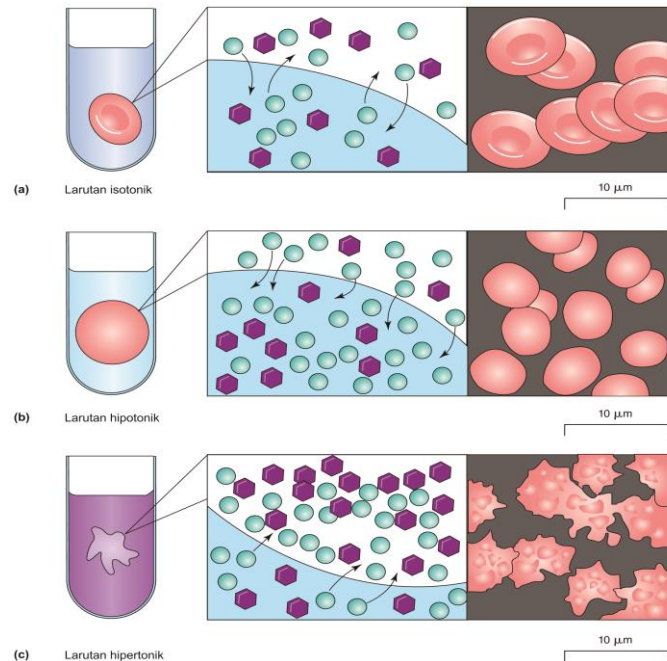
Molekul glukosa dan asam amino terlalu polar untuk berdifusi melewati membran sel dan terlau besar untuk berdifusi melewati kanal

1. Osmosis

Osmosis adalah difusi dari air (pelarut) melintasi membran permeabel yang selektif seperti membran plasma (gambar 6). Permeabel selektif berarti membran melewatkan air tetapi tidak semua zat yang terlarut (solut) dalam air dapat berdifusi melintasi membran. *Aquaporins* (AQPs), protein kanal berair meningkatkan permeabilitas membran terhadap air pada beberapa tipe sel, seperti sel ginjal dan sel darah merah. Osmosis terjadi ketika konsentrasi air berbeda pada kedua sisi. Air berdifusi dari larutan dengan konsentrasi air banyak (konsentrasi zat terlarut sedikit) ke area dengan konsentrasi air sedikit (konsentrasi zat terlarut banyak) baik dengan melintasi membran secara langsung atau bergerak melalui protein kanal. Kesetimbangan dicapai ketika konsentrasi air (dan zat terlarut) pada kedua sisi membran adalah sama, tetapi larutan dengan konsentrasi pekat awalnya (lebih banyak zat terlarut) akan memiliki volume yang lebih besar. Konsentrasi total dari semua partikel terlarut dalam larutan dikenal sebagai osmolaritas larutan.

Osmosis memainkan peranan penting dalam fungsi sel dan seluruh tubuh kita, karena perubahan volume besar karena pergerakan air akan mengganggu fungsi sel normal. Air adalah komponen utama dari sel dan bertindak sebagai pelarut untuk senyawa kimia lainnya.

Osmosis bergantung kepada tekanan osmotik. Tekanan osmotik adalah gaya yang diperlukan untuk mencegah air bergerak secara osmosis melintasi membran.

Gambar 6
Osmosis dan tekanan osmotik

Kebanyakan membran biologi adalah permeabel secara selktif. Efek osmosis pada sel darah merah dapat dengan mudah ditunjukkan pada gambar 7. Jika sel darah merah ditempatkan dalam larutan normal salin (larutan isotonis) dimana konsentrasi garam di bagian luar sel darah merah sama dengan konsentrasi garam di bagian dalam sel darah merah, molekul air akan bergerak ke dalam dan ke luar sel darah merah pada laju yang sama dan tidak ada perubahan yang diamati pada bentuk sel darah merah. Namun jika sel darah merah ditempatkan dalam air destilasi murni (larutan hipotonik) dimana molekul air memiliki konsentrasi yang lebih tinggi di bagian luar sel darah merah air akan bergerak ke dalam sel darah merah menyebabkan sel membengkak dan akhirnya ruptur (gambar 7 b). Jika sel darah merah ditempatkan dalam larutan garam 5 % (larutan hipertonik) dimana terdapat lebih banyak air darah merah dlam sel daripada dalam larutan, sel darah merah akan kehilangan air ke larutan dan akan mengerut (gambar 7 c).

Gambar 7
Efek osmosis pada sel darah merah ketika ditempatkan pada konsentrasi yang berbeda dari larutan garam

2. Reverse osmosis

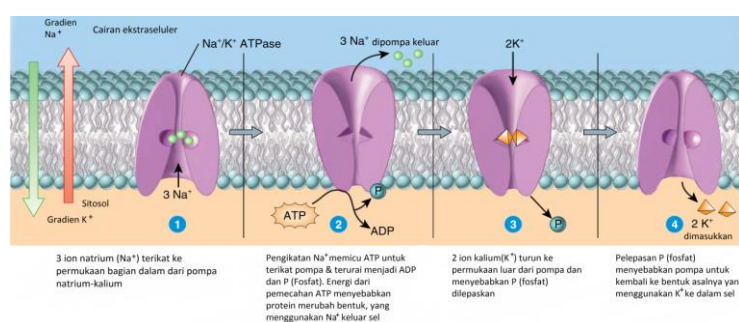
Reverse osmosis adalah proses dimana air atau pelarut lainnya mengalir dalam arah yang berlawanan (dari area dengan kosentrasi tinggi ke area konsentrasi rendah dari zat terlarut), jika tekanan eksternal diberikan pada area dengan konsentrasi yang lebih tinggi.

3. Tipe osmosis

Osmosis melintasi membran sel meliputi dua jenis:

a. Endosmosis: gerakan air ke dalam sel
b. Eksosmosis: gerakan air dari sel

4. Filtrasi

Dalam difusi dan osmosis, partikel, baik berupa zat terlarut, pelarut, atau keduanya dapat melalui membran dengan pergerakan acaknya berdasarkan gradien konsentrasi. Dalam filtrasi pergerakan partikel didasarkan pada gradien tekanan, dimana partikel melalui membran dengan dorongan tekanan. Contoh yang paling baik untuk proses ini adalah *drip coffee maker*. Air bergerak dari area dengan tekanan tinggi (reservoir air) ke area dengan tekanan rendah (pot kopi). Partikel besar (granul kopi) tetap tinggal atau tidak dapat melewati filter, sedangkan molekul kecil (kofein, pengaroma) dan air dapat melaluinya. Tekanan dihasilkan oleh berat air pada filter. Contoh filtrasi dalam tubuh manusia adalah di ujung kapiler pembuluh darah. Dengan bantuan tekanan darah, cairan dan zat terlarut dipaksa keluar dari kapiler yang dindingnya hanya satu sel tebal dan sangat permeabel ke ruang cairan interstitial, dan dengan cara ini sel mendapatkan glukosa, asam amino, dan

nutrien. Molekul besar seperti protein dan sel darah merah tidak dapat melaui pori membran dan tetap dalam kapiler. Contoh lain dari filtrasi dalam tubuh manusia terjadi pada ginjal. Darah difiltrasi melalui membran khusus di ginjal sebagai tahap awal dalam pembentukan urin

5. Transpor Aktif

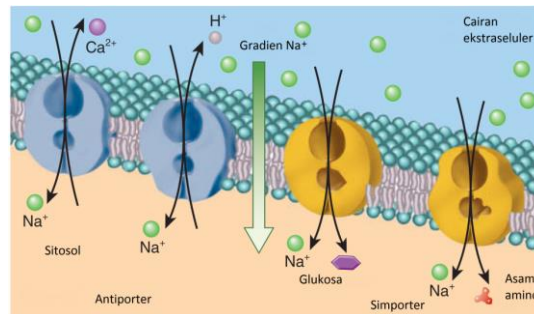
Transfor aktif berbeda dari difusi terfasilitasi, dimana pada transfor aktif menggunakan energi untuk menggerakkan molekul atau ion melintasi membran dengan melawan gradien konsentrasi *(uphill)*. Seperti halnya difusi terfasilitasi, transfor aktif memerlukan molekula atau ion berikatan dengan transporter pada membran. Karena transporter ini menggerakkan molekul atau ion secara *uphiil,* sehingg seringa disebut sebagai pompa karena seperti pompa air menggunakan energi untuk mendorong air ke atas melawan gaya gravitasi. Pada transpor aktif, transporeter juga menunjukkan spesifitas dan saturasi. Dikenal ada dua cara penggunaan energi ke transporter: menggunakan ATP secara langsung pada **transpor aktif primer**, dan menggunakan gradien elektrokimia untuk mendorong proses melintasi membran pada **transpor aktif sekunder**.

6. Transpor aktif primer

Transpor aktif memerlukan protein karier dan menggunakan energi seluler dalam bentuk ATP. Transporter itu sendiri adalah suatu enzim yang disebut ATPase yang menkatalisis pemecahan ATP. Satu contoh terbaik dari transpor aktif primer adalah pergerakan ion natrium dan kalium melintasi membran plasma oleh pompa Na^+/K^+-ATPase (gambar 8). Transporter ini mengerakkan 3 ion natrium dari intrasel ke ekstrasel, dan 2 ion kalium dalam arah yang berlawanan. Dalam kedua kasus ini, pergerakan ion melawan gradien konsentrasi. Selain pompa Na^+/K^+-ATPase, dikenal juga pompa K^+/H^+-ATPase, dan pompa kalsium.

Gambar 8
Transpor aktif. Pompa natrium-kalium (Na^+-K^+-ATPase) menolak ion natrium (Na^+) dan membawa ion kalium (K^+) ke dalam sel

Dalam proses transpor aktif sekunder, transpor digerakkan secara tidak langsung oleh energi yang telah tersimpan dalam bentuk perbedaan konsentrasi ion antara dua sisi membran, yang dihasilkan oleh transpor aktif primer. Sistem transpor aktif sekunder adalah

sistem penggandengan, yang menggerakkan lebih dari satu molekul atau ion pada waktu yang sama. Pada kebanyakan daerah di tubuh, transportasi beberapa zat lainnya digabungkan/digandengkan dengan transpor aktif Na^+, yaitu protein karier yang sama yang terlibat dalam transpor aktif Na^+ juga secara sekunder mentranspor beberapa zat lainnya. Transpor aktif sekunder dari beberapa molekul atau ion dapat terjadi dalam bentuk ko-transpor natrium atau kontra-transpor natrium (lihat gambar 9).

Gambar 9
Transpor aktif sekuder. Simporter dan Antiporter Ko-transfor natrium
(Sodium co-transport)

Protein karier disini bertindak sebagai simpor, yaitu mentranspor beberapa zat lain bersama dengan natrium. Molekul atau ion yang dibawa bersama ko-transfor natrium natrium meliputi glukosa, asam amino, klorida dan iodin. Ko-transfor natrium-glukosa terjadi selama penyerapannya dari usus ke dalam darah dan selama penyerapan kembali glukosa dari tubuli ginjal dalam darah. Ko-transfor natrium-asam amino terjadi utamanya dalam sel epitel saluran usus dan tubuli ginjal selama penyerapan asam amino ke dalam darah. Mekanisme ko-transfor natrium-asam amino mirip dengan glukosa, kecuali melibatkan protein karier yang berbeda.

a. Kontra-transpor narium (Sodium counter-transport)

Protein karier yang terlibat di sini bertindak sebagai antipor, yaitu ion natrium dipertukarkan untuk beberapa zat lainnya. Beberapa mekanisme kontra-transpor natrium yang terjadi di tubuh adalah:

b. Kontra-transpor natrium-kalsium (Sodium–calcium counter-transport)

Diketahui terjadi di hampir semua membran sel dengan ion natrium bergerak ke dalam dan ion kalsium keluar sel.

c. Kontra-transpor natrium-hidrogen (Sodium–hydrogen counter-transport)

Terutama terjadi dalam tubulus proksimal ginjal. Di sini ion Na^+ bergerak ke dalam sel dan ion H^+ keluar dari sel oleh protein pembawa yang sama.

d. Sistem kontra-transpor lainnya

Yang mana terdapat pada suatu tempat dalam tubuh, yaitu sistem kontra-transpor natrium-kalium, natrium-magnesium, kalsium magnesium, dan sistem kontra-transpor klorida-bikarbonat.

7. Transpor Vesikel

Cairan yang mengadung pertikel besar dan makromolekul seperti protein tidak dapat melewati membran melalui difusi atau dengan mekanisme transpor aktif sehingga ditranspor dalam kantung membran yang disebut vesikel. Proses transpor vesikel memerlukan energi dalam bentuk ATP. Mekanisme transpor vesikel termasuk endositosis, eksositosis dan transitosis (gambar 10a, 10b, 11)

8. Endositosis

Endositosis adalah suatu proses yang menggunakan embran plasma untuk menelan partikel-partikel padat dan butiran kecil cairan. Terdapat tiga tipe endositosi yang terjadi dalam sel yaitu:

a. Pinositosis

Pinositosis dikenal juga sebagai endositosis cairan atau *cell drinking*, suatu vesikel endositosis yang menelan volume kecil butiran cairan ekstrasel, kemudian menyatu dengan membran sel dan melepaskan isinya ketika vesikel sudah berada dalam sitoplasma. Tidak seperti fagositosis, pinsitosis memiliki vesikel yang lebih kecil dari fagositosis dan isinya adalah cairan, dan juga memiliki aktivitas yang rutin pada kebanyakan sel. Pinositosis sangat penting dalam sel yaitu fungsinya dalam proses absorpsi, seperti reabsorpsi oleh sel epitel tubuli ginjal.

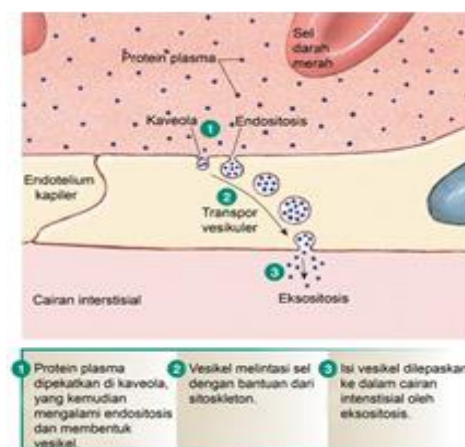
b. Fagositosis

Fagositosis atau *cell eating*, yaitu suatu proses dimana sel dapat menelan partikel padat seperti bakteri, jaringan mati, kotoran sel, dan benda asing. Fagositosis terutama sangat penting untuk sel darah putih yang menelan sel bakteri dan merusaknya ketika sudah berada dalam sitoplasma. Fungsi ini sangat penting dalam mekanisme pertahanan tubuh terhadap penyakit.

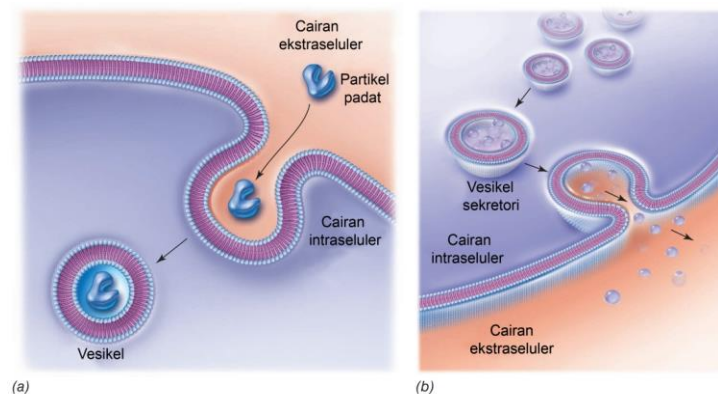
c. Endositosis yang dimediasi reseptor

Dalam proses ini zat yang akan ditanspor berikatan dengan protein reseptor spesifik yang ada pada permukaan sel. Kompleks zat-protein ieseptorini kemudian ditelan oleh

membran sel dengan proses endositosis. Zat-zat yang ditranspor dengan mekanisme ini meliputi besi, kolesterol, enzim, insulin. Sayangnya virus flu, toksin difteri dan kolera juga dapat menggunakan rute ini untuk masuk ke dalam sel tubuh kita.

9. Eksositosis

Eksositosis adalah kebalikan dari endositosis, yaitu proses transpor vesikel yang mengeluarkan zat-zat dari bagian dalam sel keluar sel. Zat-zat ini dikemas dalam vesikel oleh aparatus Golgi. Selama eksositosis vesikel bergerak ke membran sel, melebur dengannya dan megosongkan isinya dimana sekresi terjadi. Sekresi enzim pencernaan dari pankreas, sekresi susu dari kelenjar mamma, hormon, neurotransmiter, mukus dalam tubuh kita terjadi dengan eksositosis. Eksositosis adalah mekanisme dimana neuron berkomunikasi dengan yang lainnya melalui pelepasan neurotransmiter yang disimpan dalam vesikel sekretori. Proses eksositosis memerlukan ion kalsium. Peningkatan konsentrasi kalsium sitosol akan mengaktifkan protein yang diperlukanoleh membran vesikel untuk melebur dengan membran sel dan melepaskan isinya. Eksositosis dan endositosis keduanya adalah proses aktit yang memerlukan energi daam bentuk ATP.

10. Transitosis

Transitosis terjadi dalam sel kapiler endotel dan sel epitel intestinal untuk menggerakkan zat-zat melintasi sel melaui endositosis dan eksositosis.

Gambar 10
Transpor vesikel. (a) Endositosis, (b) Eksositosis

Gambar 11. Transitosis

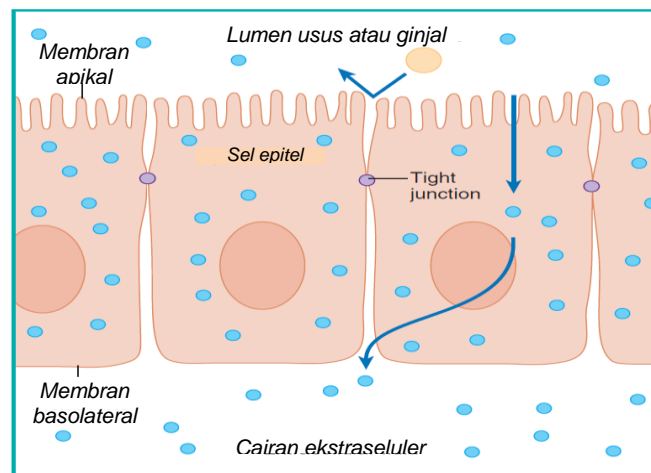
11. Proses transpor lainnya

Sejauh ini kita telah mempelajari transpor melintasi membran sel, yaitu pergerakan zat-zat antara cairan dalam sel dan cairan luar sel melalui membran sel. Selain ini ada banyak kondisi dalam tubuh kita dimana transpor zat-zat terjadi melalui epitel dan membran sel kapiler endotel. Beerapa dari proses ini akan dibahas secara singkat, yaitu: transpor melintasi epitel dan ultrfiltrasi.

12. Transpor melintasi epitel

Transpor melintasi epitel melibatkan pergerakan zat-zat dari satu sisi epitel ke sisi lainnya. Transpor transepitelial terjadi pada rongga tubuh yang dilapisi oleh lapisan sel kontinyu, seperti di saluran pencernaan, tubuli ginjal, saluran udara paru dan struktur lainnya.

Sel epitel organ berongga berfungsi mengatur absorpsi dan sekresi zat-zat melintasi permukaan ini. Satu permukaan sel epitel umumnya berhadapan dengan rongga atau chamber yang berisi cairan dan membran plasma pada sisi ini disebut sebagai membran apikal (juga dikenal sebagi membran mukosa atau lumen) epitel. Membran plasma pada permukaan lainnya (permukaan yang berlawanan) yang mana berdekatan dengan sistem pembuluh darah disebut sebagai membran basolateral (juga dikeanal sebagai membarn serosa). Pada sel epitel permeabilitas dan sifat transpor membran plasma apikal dan basolateral adalah berbeda, sehingga memberikan kemampuan sel untuk mentranspor secara aktif zat-zat antara cairan pada satu sisi sel dan cairan pada sisi lainnya.

Terdapat dua jalur dimana zat-zat dapat melintasi lapisan sel epitel, yaitu: (1) jalur paraseluler, dimana difusi terjadi antara sel epitel yang berdekatan, dan (2) jalur transeluler (gambar 12), dimana senyawa bergerak ke dalam sel epitel melintasi membran apikal atau basolateral, difusi melalui sitosol dan keluar melintasi arah yang berlawanan. Difusi melalui jalur paraseluler dibatasi oleh adanya *tight junction* antar sel yang berdekatan, karena bentuk *junction* ini menutup ujung apikal sel epitel, sehingga pergerakan melalui jalur paraseluler ditentukan oleh permeabilitas dari *tight junction.*

Gambar 12. *Tight junction* memisahkan membran apikal dari membran basolateral sel epitel

Selama transpor transeluler, pergerakan molekul melalui membran plasma sel epitel terjadi melalui difusi dan transfor yang dimediasi.

Pada sel epitel permeabilitas dan sifat transpor membran plasma apikal dan basolateral adalah berbeda, mengakibatkan kemampuan sel untuk mentranspor secara aktif zat-zat antara cairan pada satu sisi sel dan cairan pada sisi lainnya.

RINGKASAN

1) Sel adalah unit struktural dan fungsional terkecil dari tubuh. Sel dapat memperbanyak diri. Tubuh manusia mengandung sekitar 100 triliun sel. Berbagai tipe sel tubuh memiliki fitur yang membedakan satu tipe dari yang lain dan secara khusus disesuaikan untuk melakukan fungsi tertentu, misalnya sel darah merah mengangkut oksigen dari paru-paru ke jaringan, sel otot khusus untuk fungsi kontraksi. Sebuah sel yang khas, seperti yang terlihat oleh mikroskop cahaya, terdiri dari tiga komponen dasar:
   - Membran sel
   - Sitoplasma dan
   - Nukleus
2) Membran sel yang memgelilingi sel dan menjaganya mengatur apa yang masuk dan keluar sel. Membran sel memisahkan bagian dalam sel (sitoplasma) dan bagian luar. Membran sel adalah suatu bilayer fosfolipid (lapis ganda lipid) yang disebut sebagai permeabel atau permeabel selektif, karena dia melewatkan molekul-molekul tertentu untuk masuk ke sel tetapi tidak untuk yang lainnya.
3) Sitoplasma adalah bagian dari sel antara nukleus dan membran plasma. Matriks dari sitoplasma adalah medium semicair yang mengndung air dan berbagai tipe molekul yang terlarut dalam medium. Sitoplasma mengandung berbagai organel. Setiap tipe organel mempunyai fungsi yang spesifik.
4) Tabel struktur dan fungsi sel

Bagian sel	Jumlah per sel	Struktur	Fungsi
Membran plasma	1	Lapis ganda lipid yang ditaburi oleh protein dan sejumlah kecil karbohidrat	Barier selektif antara isi sel dan cairan ekstrasel : mengontrol aliran zat masuk dan keluar sel
Nukleus	1	DNA dan protein khusus yang di bungkus oleh sebuah membran berlapis ganda (lipid bilayer)	Pusat pengaturan sel, menyimpan informasi genetik menyediakan kode-kode untuk mensintesis protein struktural dan enzimatik yang menentukan sifat spesifik sel

Bagian sel	Jumlah per sel	Struktur	Fungsi
Sitoplasma Organel-organel			
Retikulum endoplasma	1	Jaringan membranosa yang luas dan kontinu, terdiri dari tubulus berisi cairan dan kantung gepeng, sebagian di taburi oleh ribosom.	Pembentukan membran sel baru dan komponen-komponen sel lain serta pembuatan zat-zat untuk disekresi.
Kompleks golgi	1 sampai beberapa ratus	Kantung membranosa yang gepeng dan bertumpuk-tumpuk.	Pusat modifikasi, pengemasan, dan distribusi protein yang baru disintesis.
Lisosom	300	Kantung membranosa yang mengandung enzim-enzim hidrolitik.	Sistem pencernaan sel, mengahancurkan bahan yang tidak di inginkan, misalnya benda asing dan sisa sel.
Peroksisom	200	Kantung membranosa yang mengandung enzim-enzim oksidatif.	Aktifitas detoksifikasi.
Mitokondria	100 sampai 2000	Badan-badan berbentuk batang atau oval yang di bungkus oleh dua membran dengan membran bagian dalam melipat-lipat menjadi Krista yang menonjol ke matriks bagian dalam.	Organel energi: tempat utama untuk membentuk ATP : mengandung enzim-enzim untuk siklus asam sitrat dan rantai transportasi elektron.
Sitosol Bagian-bagian			
Enzim-enzim metabolisme perantara	Banyak	Susunan sikuensial di dalam sitoskeleton.	Reaksi intrasel yang melibatkan penguraian, sintesis, dan transformasi molekul organik kecil.
Ribosom	Banyak	Granula-granula RNA dan protein sebagian melekat	Sintesis protein.

Bagian sel	Jumlah per sel	Struktur	Fungsi
		ke retikulum endoplasma kasar, sebagian bebas di sitoplasma.	
Vesikel sekretorik	Bervariasi	Paket-paket produk sekretorik yang terbungkus membran mengosongkan isinya keluar sel.	Menyimpan produk sekretorik sampai Mendapat sinyal.
Inklusi	Bervariasi	Granula, glikogen, butir lemak.	Menyimpan kelebihan nutrien

- **Sitoskeleton** terdiri atas **mikrotubulus**, **mikrofilamen** dan **filamen intermediet**. **Mikrotubulus** memiliki bentuk berupa benang-benang silindris dan berfungsi mempertahankan bentuk sel sedangkan mikrofilamen memiliki struktur lebih kecil dari mikrotubulus dan berfungsi menetukan perubahan bentuk sel.
- **Sentriol** strukturnya meliputi sekelompok mikrotubulus yang terdiri dari 9 tripet yang membentuk satu kesatuan yang disebut sentrosom. **Fungsi:** berperan dalam proses pembelahan yang mengatur arah gerak kromosom berperan dalam pembentukan benang-benang gelendong.
- **Filamen intermediat** merupakan bagian dari kerangka sel (**sitoskeleton**) yang memiliki diameter antara 8 hingga 12 nm, lebih besar daripada diameter mikrofilamen tetapi lebih kecil daripada diameter mikrotubula **Fungsi** untuk menahan tarikan (seperti mikrotubula).
- **Sentrosom** adalah organel sel yang berfungsi aktif pada pembelahan sel dan hanya terdapat pada sel hewan. Sentrosom merupakan wilayah yang terdiri dari dua sentriol(sepasang sentriol) yang terjadi ketika pembelahan sel, dimana nantinya tiap sentriol ini akan bergerak ke bagian kutub-kutub sel yang sedang membelah. Fungsi Sentrosom, selama pembelahan sel sentrosom mempertahankan jumlah kromosom.
- **Flagela** adalah struktur seperti ekor yang relatif panjang yang mampu baik membuat gerakan bergelombang atau rotasi. **Silia** sebagai alat bantu pergerakan yang menonjol dari sebagian sel yang muncul dalam jumlah banyak pada permukaan sel . **Fungsi**: memindahkan sel dari satu tempat ke tempat lain atau membantu dalam mengangkut zat-zat eksternal.

5) Mekanisme transpor melintasi membran sel dapat terjadi secara pasif dan aktif.

Nama	Arah	Kebutuhan	Contoh
Metode Pasif Difusi sederhana	 Dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah	 Gradien konsentrasi	 Molekul larut lemak, gas
Difusi terfasilitasi	Dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah	Molekul pembawa ditambah gradien konsetrasi	Glukosa dan asam amino
Osmosis	Dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah	Membran semipermiabel, konsentrasi air gradien	Penyerpan air dari saluran pencernaan ke aliran darah
Metode aktif Transpor aktif	 Dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi	 Molekul pembawa di tambah energi sel	 Ion, glukosa, asam amino
Endositosis	Ke dalam sel (sel makan)	Informasi vesikel	Sel bakteri, virus
	Ke dalam sel (sel minum)	Informasi vesikel	Payudara penyerapan susu pada bayi
Eksositosis	Keluar dari sel	Vesikel melebur dengan membran plasma	Hormon, pesan, makromolekul lainnya

TES 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Contoh mekanisme umpan balik negatif
   A. Produksi saliva
   B. Pengaturan kadar glukosa darah
   C. Partus
   D. Pembekuan darah
   E. Pencernaan protein di lambung.

2) Contoh mekanisme umpan balik positif
   A. Pelepasan hormon TSH
   B. Pelepasan hormon ADH
   C. Pengaturan temperatur
   D. Partus
   E. Pngaturan air dan mineral

3) Contoh penggunaan obat untuk mempertahankan homeostatik dalam pengaturan kadar glukosa darah
   A. Enalapril
   B. Propanolol
   C. Insulin
   D. Furosemid
   E. Valsartan

4) Sel dikatakan satuan fungsi makhluk hidup karena………………..
   A. Semua jenis sel mempunyai fungsi yang sama
   B. Melakukan apa yang dilakukan oleh suatu individu organisme sebagai keseluruhan
   C. Semua sel mempunyai jumlah dan macam organel yang sama
   D. Semua makhluk hidup terdiri atas sel-sel
   E. Sel adalah unit terkecil dari makhluk hidup

5) Organ tubuh yang banyak mengandung peroksisom adalah……………………
   A. Hati
   B. Paru-paru
   C. Otak
   D. Jantung
   E. Ginjal

6) Bagian sel yang mengatur keluar rmasuknya zat dari dan ke dalam sel adalah……………..
   A. Sitoplasma
   B. Mitokondria
   C. Nukleus
   D. Membran plasma
   E. Retikulum endoplasma

7) Proses pergerakan acak partikel-partikel dari konsentrasi tinggi ke rendah disebut…..
   A. Osmosis
   B. Transfor pasif
   C. Transfor aktif

D. Difusi
E. Transitosis

8) Jaringan yang menutupi permukaan tubuh, tersusun dari sel lapisan sel yang tebal, dan terdiri dari sel-sel datar adalah….
A. Epitel skuamosa sederhana
B. Epitel kuboid sederhana
C. Epitel skuamosa bertingkat
D. Epitel kolumnar sederhana
E. Epitel transisional

9) Sel epitel dengan mikrovili dapat ditemukan pada…
A. Dinding pembuluh darah
B. Dinding rahim
C. Dinding paru-paru
D. Dinding usus kecil
E. Dinding esofagus

10) Dinding saluran pencernaan, respirasi, ekskresi, dan reproduksi adalah bagian dari…
A. Membran serosa
B. Membran sinovial
C. Membran mukosa
D. Membran kulit
E. Membran jaringan ikat

Topik 3
Jaringan

Sudahkah kalian mempelajari struktur tubuh manusia? Tentu saja kalian sudah pernah mendapatkannya di bangku sekolah, bukan? Kalian tentu sudah mengetahui bahwa manusia memiliki struktur yang sangat kompleks. Berbagai aktivitas tubuh yang kita jalani setiap hari melibatkan berbagai tingkatan organisasi tubuh, yaitu sel, jaringan, organ, dan sistem organ. Sebagai contoh sederhana adalah jantung. Apakah yang menyusun jantung?

Bagaimana jantung bekerja? Nah, pertanyaan-pertanyaan tersebut akan dijawab pada pembahasan kali ini yaitu tentang tingkat jaringan dan membran penyusunnya, organ, dan sistem organ. Seperti pada pembahasan sebelumnya, seladalah kumpulanyang kompleks dari kompartemen, yang masing-masing mengeluarkan sejumlah reaksi biokimia yang memungkinkan adanya kehidupan. Namun, seljarang berfungsi sebagai unit terisolasi dalam tubuh. Sebaliknya, sel-sel biasanya bekerja bersama dalam kelompok yang disebut jaringan. Jaringan adalah sekelompok sel yang biasanya memiliki asal usul yang sama dalam embriodan fungsi yang sama untuk melaksanakan kegiatan khusus. Jaringan memberikan kontribusi untuk fungsi organ di mana dia ditemukan.

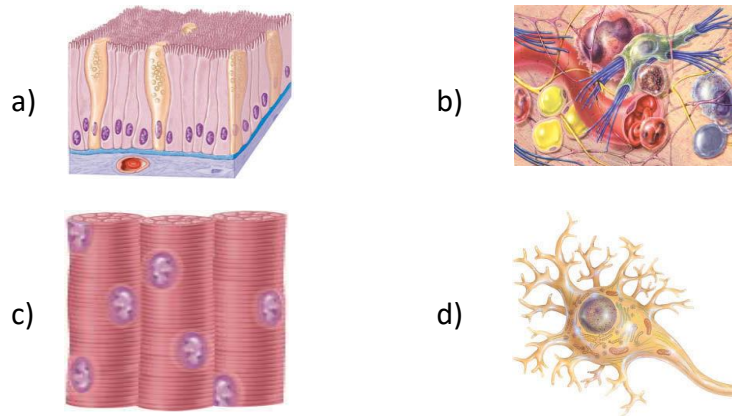
Struktur dan sifat dari jaringan tertentu dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti sebagai sifat dari material ekstras eluler yang mengelilingi sel-sel jaringan, dan koneksi antara sel-sel yang membentuk jaringan. Jaringan pada umumnya ada yang berbentuk padat, semipadat, atau bahkan cair. Contoh jaringan yaitu jaringan tulang, lemak, dan darah.

Pada pembahasan kali ini, kita mempelajari tipe jaringan, variasi dalam setiap tipe jaringan, dan bagaimana mengenali tipe jaringan secara mikroskopis yang berhubungan dengan anatomi mikroskopis dalam fungsi jaringan.

Jaringan diklasifikasikan berdasarkan bagaimana sel-sel ini disusun, jenis dan berapa banyak material yang ditemukan antara sel-sel tersebut. Ilmu yang mempelajari tentang jaringan disebut histologi. Empat jenis dasar jaringan yaitu jaringan epitel, ikat, otot, dan saraf. Setiap jenis dibagi lagi dalam contoh-contoh yang spesifik. Organ adalah struktur dengan batas-batas diskrit yang terdiri dari dua atau lebih jenis jaringan. Organ tidak berasal dari fungsi mereka sendiri tetapi berasal dari bagaimana sel terorganisasi menjadi jaringan. Tidak ada satu jenis sel yang memiliki mekanisme untuk melaksanakan semua fungsi vital tubuh. Sel bekerja sama pada tugas-tugas tertentu dan jaringan juga melakukan fungsi tertentu, seperti sinyal saraf atau pencernaan makanan.

Dalam materi ini juga akan dibahas tentang membran, yang merupakan lapisan pada jaringan. Seperti yang mungkin kalian ketahui, setiap jenis membran memiliki lokasi dan fungsiyang spesifik.

A. JARINGAN

Jaringan adalah sekelompok sel dengan struktur dan fungsi yang mirip. Jaringan berperan terhadap fungsi organ dimana dia ditemukan. Jaringan tubuh dapat dikelompokkan dalam 4 tipe utama sesuai struktur dan fungsinya. (gambar 1).

Gambar 1. Tipe jaringan pada tubuh manusia
(Sumber: Tortora, Principles of Anatomy and Physiology, 2014)

1. **Jaringan epitel**; menutupi permukaan tubuh dan dinding organ berongga, rongga tubuh,dan saluran,juga membentuk kelenjar. Jaringan ini memungkinkan tubuh untuk berinteraksi dengan lingkungan internal dan eksternal.
2. **Jaringan ikat**; melindungi dan menyokong tubuh dan organ-organnya. Beberapa tipe jaringan ikat terikat dengan organ secara bersama,menyimpan energi cadangan seperti lemak dan membantu pertahanan tubuh terhadap organisme penyebab penyakit.
3. **Jaringan otot**; terdiri dari sel-sel khusus untuk kontraksi dan menghasilkan tenaga. Dalam proses kontraksi, jaringan otot menghasilkan panas yang menghangatkan tubuh.
4. **Jaringan saraf**; mendeteksi perubahan dalam berbagai kondisi didalam dan luar tubuh dan direspon oleh sinyal elektrik yang hasilnya disebut potensial aksi saraf (impuls saraf) yang mengaktifkan kontraksi otot dan sekresi kelenjar.

Jaringan epitel dan kebanyakan tipe jaringan ikat(kecuali kartilago, tulang, dan darah) lebih bersifat umum dan memiliki distribusi yang luas didalam tubuh. Jaringan ini adalah komponen dari sebagian besar organ tubuh dan memiliki berbagai struktur dan fungsi.

1. Jaringan Epitel

Jaringan epitel membentuk penutup dan dinding (lapisan di seluruh tubuh). Tidak ditutupi oleh jaringan lain, sehingga mempunyai permukaan bebas.

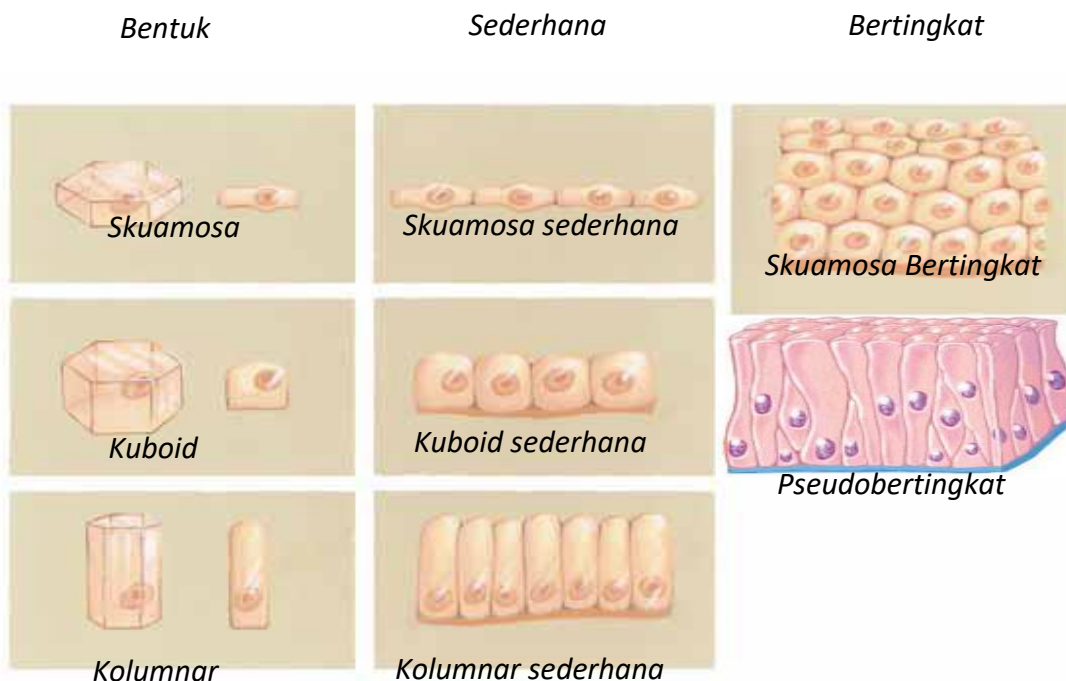
Jaringan epitel memiliki 3 fungsi utama :

a. Barier selektif yang membatasi atau membantu transpor zat-zat ke dan dari dalam tubuh.

b. Sebagaipermukaan sekretoriyangmelepaskan produk-produkyang dihasilkan oleh sel ke dalam permukaan bebas.
c. Sebagai permukaan pelindung yang menahan jaringan dari pengaruh abrasif oleh lingkungan.

Di samping itu, jaringan epitel bergabung dengan jaringan saraf untuk membentuk organ khusus sebagai indera pembau, pendengaran, penglihatan, dan sentuhan.Berbagai permukaan sel epitel memiliki perbedaan struktur dan mempunyai fungsi yang spesifik. Permukaan apikal atau bebas dari sel epitel menghadap rongga tubuh,dan lumen (lubang bagian dalam) dari organ internal, atau saluran tubuh yang menerima sekresi sel. Permukaan apikal mengandung silia atau mikrovili.Permukaan lateral dari sel epitel yang berdekatan pada sisi lainnya memiliki *tight juncion, adherens juncion, desmosom,* dan atau *gap junction.*

Epitel dikelompokkan sesuai dengan bentuk dan jumlah lapisan (gambar 2).

Bentuk *Sederhana* *Bertingkat*

Gambar 3. Klasifikasi jaringan epitel berdasarkan bentuk dan jumlah lapisan sel (Sumber: Sanders, Essentials of Anatomy and Physiology, 2014. Tortora, Principles of Anatomy and Physiology)

Pengelompokan sel epitel berdasarkan bentuk sel: skuamosa, kuboid, dan kolumnar, dan bentuk inti sel sesuai dengan bentuk selnya. **Sel skuamosa** berbentuk gepeng, dengan inti sel besar dan tipis, **sel kuboid** berbentuk kubus, dengan inti sel berbentuk *spheric* (bola) dan terpusat di tengah, mempunyai mikrovili pada permukaan apikal dan memiliki fungsi untuk sekresi atau absorpsi. **Sel kolumnar** berbentuk tinggi dan ramping seperti kolom dan inti sel biasanya berada lebih ke bawah, dekat dengan *basement membran.* Memiliki permukaan apikal yang memiliki silia atau mikrovili dan berfungsi untuk sekresi dan absorpsi. **Sel transisi** yang merubah bentuk dari skuamosa ke kuboid, dan kembali dari kuboid ke

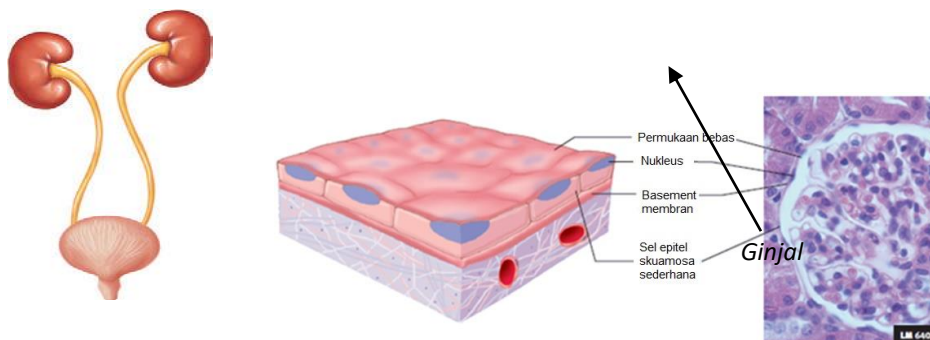
skuamosa seperti peregangan pada organ kandung kemih ke ukuran yang lebih besar kemudian kembali lagi ke ukuran yang lebih kecil.

Berdasarkan jumlah lapisan, jaringan epitel dikelompokkan menjadi epitel sederhana yang hanya terdiri dari satu lapis sel, dan biasanya sangat tipis sehingga tidak spesifik untuk fungsi perlindungan. Epitel sederhana terkait dengan proses absorpsi, ekskresi, dan filtrasi. Dan epitel bertingkat yang memiliki banyak lapisan sel.

Pengelompokan sel epitel berdasarkan bentuk sel, terbagi atas:

a. Epitel Sederhana (Simple Epithelium)

1) Epitel Skuamosa Sederhana (Simple Squamosa Epithelium)

Epitel skuamosa sederhana adalah satu lapisan sel berbentuk gepeng. Sel-sel ini memiliki karakteristik yang sangat tipis dan halus. Contoh epitel skuamosa sederhana ditemukan di alveoli (kantung udara dari paru-paru merupakan contoh) dan pada ginjal, membentuk bagian dari membran filtrasi.Lokasi lain jaringan ini terdapat di pembuluh darah kapiler terkecil. Dinding kapiler hanya terdiri satu sel tebal yang memungkinkan terjadinya pertukaran gas, nutrisi, dan zat-zat yang tidak berguna antara darah dan cairan interstisial (gambar 4).

Gambar 4.
Sel skuamosa sederhana pada ginjal (Sumber: Seeley’s, Anatomy and Physiology 10th Edition)

Terdapat 2 epitel skuamosa sederhana dalam tubuh kita yang mempunyai nama yang khusus sesuai dengan lokasinya.

a) **Endotelium** "penutup bagian dalam", menjadikan permukaan licin, mengurangi gesekan pada dinding pembuluh limfa dan semua organ berongga seperti sistem kardiovaskuler (pembuluh darah dan jantung). Kapiler terdiri dari endothelium yang khususdan tipis sehingga sangat efisien untuk pertukaran nutrisi dan sisa residu antara pembuluh darah dan jaringan sel disekitarnya.

b) **Mesotelium** "penutup bagian tengah", yaitu epitel yang ditemukan dalam dinding membran serosa, selaput yang melapisi rongga tubuh *ventral* dan menutupi organnya.

2) Epitel Kuboid Sederhana (*Simple Cuboidal Epithelium*)

Terdiri dari satu lapis sel yang berbentuk kubus. Epitel kuboid sederhana ditemukan sebagai penutup ovarium, dinding tubuli ginjal dan kebanyakan kelenjar seperti kelenjar tiroid, pankreas, dan saliva (merupakan contoh dari epitel kelenjar yang fungsinya sebagai sekresi). Pada tubuli ginjal, jaringan ini berfungsi untuk reabsorpsi zat-zat yang masih berguna kembali ke dalam darah.

Pada kelenjar, bentuk sel kuboid sederhana bagian sekretori dan duktus membawa sekret ke tempat targetnya. Pada kelenjar tiroid, sel epitel kuboid mensekresikan hormon tiroid seperti tiroksin. Pada kelenjar saliva mensekresikan saliva.

3) Epitel Kolumnar Sederhana (*Simple Columnar Epithelium*)

Sel ini memiliki fungsi khusus untuk sekresi dan absorpsi. Ditemukan pada dinding lambung dan usus dimana pada bagian ini memiliki fungsi untuk mensekresikan enzim pencernaan dan absorpsi nutrisi.

Pada dinding usus kecil, sel ini mensekresikan enzim pencernaan dan juga menyerap hasil akhir pencernaan dari rongga usus ke dalam darah dan limfa. Untuk dapat menyerap secara efisien, sel kolumnar pada usus kecil memiliki mikrovili. Tipe lain dari sel kolumnar adalah sel *goblet* yang merupakan kelenjar uniseluler. Sel *goblet* mensekresikan mukus yang ditemukan dalam dinding usus dan dinding bagian saluran pernapasan seperti trakea.

4) Epitel Pseudobertingkat (Pseudostratified Epithelium)

Sel silia dan *goblet* sering terkait dengan epitel pseudobertingkat kolumnar. Epitel pseudobertingkatkolumnar terdapat pada sistem reproduksi pria. Disini silia membantu mendorong sperma dari satu area ke area lainnya. Contoh daerah dimana terdapat sel ini adalah duktus ekskretori dari sebagian besar kelenjar, saluran dari bagian auditori (*eustachian*) yang menghubungkan telinga bagian tengah dengan faring dan trakea, juga terdapat pada saluran reproduksi pria.

b. Epitel Bertingkat (Stratified Epithelium)

Epitel bertingkat mengandung lebih banyak lapisan sel. Epitel bertingkat dinamai sesuai dengan tipe sel pada permukaan apikal, seperti pada permukaan kulit, dan dinding mulut.

1) Epitel Skuamosa Bertingkat (Stratified Squamosa Epithelium)

Epitel skuamosa bertingkat sangat tebal karena terdiri dari beberapa lapis sel. Sel terletak di permukaan sel datar yang berbentuk gepeng. Sel-sel terletak pada lapisan bawah, dekat dengan *basement membran*, biasanya kuboid atau kolumnar. Sel-sel ini mengalami mitosis. Karena sel terletak pada permukaan, sel ini mudah mengalami kerusakan, terkelupas dan mudah digantikan oleh sel dari lapisan yang lebih dalam. Karena jaringan ini tebal, epitel skuamosa bertingkat ditemukan padadaerah yang memiliki fungsi perlindungan yang utama. Epitel skuamosa bertingkat membentuk lapisan kulit terluar dan disebut sebagai *keratinasi*, karena menghasilkan protein keratin dan sel-sel permukaan mati. Epitel

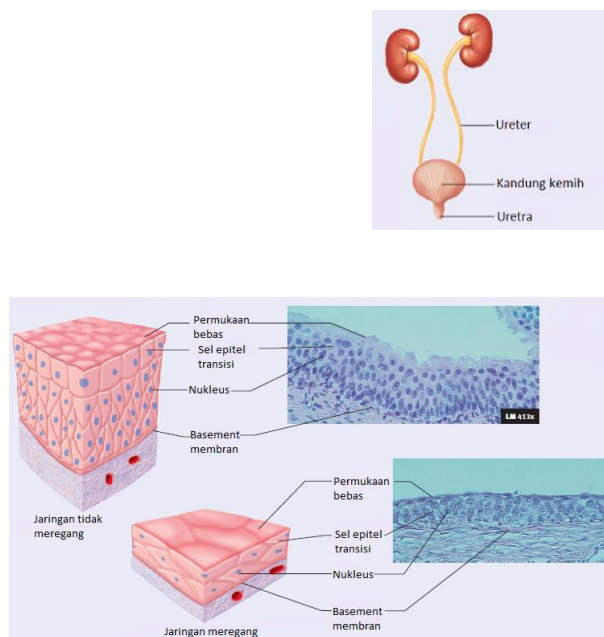
skuamosa bertingkat dari tipe *non-keratinasi* ditemukan pada selaput rongga mulut, esofagus, dan pada vagina.

Dalam semua lokasinya, jaringan ini sebagai *barier* terhadap organisme karena sel-sel tersusun sangat rapat.

2) Epitel Kuboid Bertingkat (Stratified Cuboidal Epithelium)

Biasanya terdiri dari dua lapis sel yang berbentuk kubus, dan berfungsi sebagai penguat dinding lumen. Lokasinya pada kelenjar keringat, pankreas dan saliva.

3) Epitel Transisi Bertingkat (Transitional Stratified Epithelium)

Epitel transisi bertingkat dimana sel permukaannya mengubah bentuk dari kuboid menjadi gepeng (skuamosa), misalnya pada kandung kemih yang dilapisi oleh epitel transisi.

Gambar 5. Epitel transisi bertingkat pada kandung kemih
(Sumber: Seeley's, Anatomy and Physiology 10th Edition)

Ketika kandung kemih kosong dan berkontraksi, dinding epitel menjadi sel kuboid, ketika kandung kemih terisi dan meregang sel menjadi lebih tipis dan menjadi skuamosa. Epitel transisi memungkinkan kandung kemih untuk mengisi dan meregang tanpa merobek lapisan.

c. Epitel Kelenjar (Glandular Epithelium)

Epitel kelenjaradalah epitel yang khusus untuk menghasilkan dan mensekresikan suatu zat. Kelenjar dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu, **eksokrin dan endokrin**. Jika kelenjar mensekresikan sekretnya ke permukaan bebas melalui suatu duktus disebut **kelenjar eksokrin.** Jika kelenjar mensekresikan sekretnya secara langsung ke dalam darah, maka disebut sebagai **kelenjar endokrin.** Kelenjar eksokrin yang hanya terdiri dari satu sel disebut

kelenjar uniseluler. Sel *goblet* yang mengahsilkan mukus dari dinding saluran pencernaan, respirasi, perkemihan, dan reproduksi adalah contoh dari kelenjar uniseluler. Sebagian besar kelenjar adalah multiseluler karena terdiri dari beberapa sel. Kelenjar ini mempunyai bagian sekretori dan suatu duktus yang berasal dari epitel. Kelenjar multiseluler dikelompokkan sesuai dengan struktur dan tipe sekret yang dikeluarkan. Kelenjar sederhana jika duktusnya tidak mempunyai cabang (gambar 6), sedangkan kelenjar kompleks jika duktusnya mempunyai cabang (gambar 7). Kelenjar tubular jika kelenjar dan duktusnya bergabung dengan diameter yang tidak berubah, bagian distal dari duktus mengembang atau membesar untuk membentuk struktur seperti kantong disebut asinar atau alveolar.

Gambar 6. Kelenjar sederhana
(Sumber: Seeley's, Anatomy and Physiology 10th Edition)

Gambar 7. Kelenjar kompleks
(Sumber: Seeley's, Anatomy and Physiology 10th Edition)

1) Kelenjar eksokrin (*Exocrine Glands*)

Kelenjar eksokrin mensekresikan zat-zatnya ke dalam duktus, baik sebagai kelenjar eksokrin sederhana maupun sebagai kelenjar eksokrin secara langsung pada permukaan bebas. Sekresi dari kelenjar eksokrin yang banyak mengandung air disebut sebagai sekresi serosa. Sebaliknya, kelenjar mukus menghasilkan sekresi mukus yang kental. Sebagian besar kelenjar yang ada di dalam tubuh kita adalah kelenjar eksokrin meliputi :

a) Kelenjar keringat; mensekresikan keringat (*perspire*) untuk mendinginkan kulit. Keringat juga mengandung produk ekskretori seperti urea .
b) Kelenjar pencernaan; sekresi dari kelenjar ini akan memecahkan makanan, memberikan suplai darah sehingga kebutuhan sel tubuh akan nutrisi terpenuhi.
c) Kelenjar *cerumen*; mensekresi kotoran telinga (*cerumen*) yang menempel pada partikel debu atmosfer dan mikroba yang telah memasuki saluran telinga luar, sehingga mencegah mereka masuk ke dalam organ telinga bagian dalam.
d) Kelenjar air mata (*lakrimal*); melembabkan dan membersihkan permukaan mata oleh sekresi air mata, juga mengandung antibodi, sehingga bertindak sebagai mekanisme pertahanan eksternal.

2) Kelenjar Endokrin (*Endocrine Glands*)

Kelenjar endokrin tidak memiliki saluran, karena itu kadang-kadang disebut sebagai kelenjar tak berduktus. Akan dibahas lebih lanjaut pada sistem endokrin.

2. Jaringan Ikat

Tipe jaringan utamakedua adalah jaringan ikat.Tipe jaringan ini memungkinkan pergerakan dan memberikan sokongan atau dukungan untuk jenis jaringan lainnya. Jaringan ikat dapat dikelompokkan ke dalam tiga subkelompok yaitu jaringan ikat longgar, jaringan ikat padat, dan jaringan ikat khusus.

Jaringan ikat berbeda dari tiga tipe jaringan lainnya yang mana terdiri dari sel yang terpisah dari satu dengan yang lainnya oleh matriks ekstraseluler. Jaringan ikat merupakan jenis jaringan yang paling banyak didalam tubuh. Fungsi jaringan ini adalah untuk:

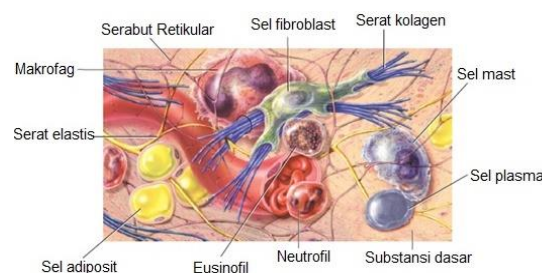
a. Menutupi dan melindungi jaringan lainnya. Lapisan jaringan ikat membentuk kapsul yang mengelilingi organ, seperti hati dan ginjal. Jaringan ikat juga membentuk lapisan yang memisahkan antara jaringan dan organ. Contoh, jaringan ikat memisahkan otot, arteri, vena dan saraf dari bagian lainnya.
b. Mengikat jaringan satu dengan jaringan lainnya. Kabel yang kuat atau pita jaringan ikat disebut tendon yang melekatkan otot ke tulang. Sedangkan jaringan ikat pita disebut ligamen yang menahan atau menyangga tulang.
c. Menyokong dan menggerakkan bagian tubuh. Tulang dan sistem rangka memberikan sokongan yang kaku dengan tubuh, dan kartilago yang semi kaku menyokong struktur tubuh seperti hidung, telinga, dan permukaan sendi. Sendi antara tulang menghubungkan satu bagian tubuh yang bergerak menuju ke bagian lainnya.
d. Menyimpan zat-zat. Jaringan adiposa (lemak) menyimpan molekul energi tinggi, dan tulang menyimpan mineral, seperti kalsium dan fosfat.

Sel jaringan ikat dapat berproduksi tetapi tidak secepat sel epitel. Sebagian besar jaringan ikat memiliki suplai darah yang baik, tapi beberapa lainnya tidak, kecuali kartilago yang avaskuler.

Jenis sel dalam jaringan ikat bervariasi sesuai dengan jenis jaringan dan meliputi (gambar 8):

a. **Fibroblast**, sel gepeng besar dengan prosesus bercabang. Umumnya, sel ini terdapat di semua jaringan ikat, dan biasanya paling banyak ditemukan.
b. **Makrofag** berkembang dari monosit, sejenis sel darah putih. Contoh makrofag, termasuk alveolar di paru-paru atau makrofag limfa di limfa. Makrofag memiliki kemampuan untuk bergerak di seluruh jaringan dan berkumpul di tempat infeksi atau peradangan untuk melanjutkan fagositosis.
c. **Sel plasma** adalah sel kecil yang berkembang dari jenis sel darah putih yang disebut limfosit B. Sel plasma mensekresi antibodi, yaitu protein yang menyerang atau menetralisir zat asing dalam tubuh. Dengan demikian, sel plasma merupakan bagian penting dari respon kekebalan tubuh. Meskipun sel ini banyak ditemukan di dalam

tubuh, sebagian besar sel plasma berada dalam jaringan ikat, terutama di saluran pencernaan dan pernapasan. Sel ini juga melimpah di kelenjar ludah, kelenjar limfa, organ limfa, dan sumsum tulang merah.

d. **Sel mast** banyak ditemukan dekat pembuluh darah yang mensuplai jaringan ikat. Sel ini menghasilkan histamin, yaitu zat kimia yang melebarkan pembuluh darah kecil sebagai bagian dari respon inflamasi, reaksi tubuh terhadap cedera atau infeksi.
e. **Adiposit** juga disebut sel-sel lemak atau sel adiposa, yaitu sel jaringan ikat yang menyimpan trigliserida (lemak). Sel ini ditemukan dalam kulit dan sekitar organ seperti jantung dan ginjal.
f. **Leukosit** (sel darah putih) tidak ditemukan dalam jumlah yang signifikan dalam jaringan ikat yang normal.

Gambar 8. Jenis sel dalam jaringan ikat
(Sumber: Tortora, Principles of Anatomy and Physiology, 2014)

a. Jaringan Ikat Longgar

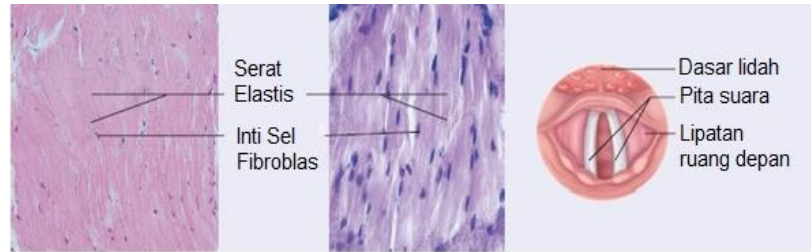
Jaringan ikat longgar juga biasa disebut jaringan ikat areolar, yaitu salah satu jaringan yang paling banyak terdistribusi dalam tubuh. Jaringan ini berfungsi untuk membungkus material dalam tubuh.

Jaringan ikat longgar dapat ditemukan di bawah jaringan epidermis kulit dan di bawah jaringan epitel yang dimiliki oleh semua sistem tubuh bagian luar. Sel jaringan areolar (ikat longgar)disebut fibroblas.

b. Jaringan Adiposa

Umumnya disebut jaringan lemak yaitu jaringan ikat longgar khusus yang didalamnya terdapat sangat sedikit matriks interseluler. Jaringan adiposa membentuk suatu bantalan pelindung sekitar ginjal, jantung, bola mata, dan berbagai sendi. Jaringan ini juga dapat ditemukan dibawah kulit yang melindunginya terhadap panas. Jaringan adiposa terletak di kulit, jantung, ginjal, tulang, dan mata.

Sel jaringan adiposa juga disebut sebagai sel jaringan adiposit dan memiliki fungsi utama untuk menyimpan lemak dalam bentuk butiran cairan. Kelebihan nutrisi disimpan sebagai kalori dalam bentuk lemak yang digunakan ketika tubuh kekurangan intake. Sebagian besar lemak disimpan di bawah kulit dalam jaringan ikat areolar antara dermis dan otot. Leptin adalah hormon penekan nafsu makan yang disekresikan oleh sel adiposit yang mengirim sinyal hipotalamus ke otak bahwa cadangan lemak masih cukup. Ketika sekresi

leptin berkurang, nafsu makan meningkat. Adiposit mensekresikan paling sedikit dua senyawa kimia yang membantu mengatur penggunaan insulin dalam metabolisme glukosa dan lemak. Jaringan adiposa juga terlibat dalam inflamasi, yaitu respon pertama tubuh terhadap jejas dimana dia menghasilkan sitokin (senyawa kimia yang mengaktifkan sel darah putih).

c. Jaringan Ikat Padat

Jaringan ikat padat tersusun dari lapisan dengan lapisan protein yang padat. Jaringan ini dibagi menjadi dua subkelompok berdasarkan pada susunan serat dan proporsi dari kolagen yang padat serta serat elastin yang fleksibel. Jaringan ikat padat memiliki jumlahserat protein yang relatif banyak, yang membentuk buntelan tebal dan mengisi hampir semua ruang ekstraseluler. Sebagian besar sel-sel yang tersusun dari jaringan ikat padat adalah fibroblas yang berbentuk spindle (kumparan). Fibroblas yang telah sempurna dikelilingi oleh matriks,disebut fibrosit. Jaringan ikat padat dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok utama: teratur dan tidak teratur. Jaringan ikat padat teratur memiliki serat protein dalam matriks ekstraseluler yang berorientasiutamanya dalam satu arah. Jaringan ikat padat kolagen teratur (gambar 9) memiliki serat kolagen yang berlimpah, sehingga menjadikan jaringan ini tampak putih. Jaringan ikat padat kolagen teratur membentuk struktur seperti tendon, yang menghubungkan otot ke tulang, dan sebagian besar ligamen, yang menghubungkan tulang ke tulang. Serat kolagendari jaringan ikat padat menahan peregangan dan memberikan kekuatan jaringan dalam arah orientasi serat. Tendon dan sebagian ligamen terdiri hampir seluruhnya dari bundelan tebal serat kolagen yang terkemas rapat sejajar dengan orientasi serat kolagen dalam satu arah, yang membuat tendon dan ligamen sangat kuat, dengan struktur seperti kawat.

Gambar 9. Jaringan ikat padat kolagen teratur
(Sumber: Selley's, Anatomy and Physiology 10th Edition)

Jaringan ikat padat yang elastis biasa membentuk beberapa ligamen elastis, seperti pada lipatan vokal dan *nuchal* (belakang leher), yang terletak di sepanjang posterior leher, membantu menahan kepala tetap tegak. Ketika ligamen elastis diregangkan, akan cenderung kembali ke panjang semula, yang dominan sebagai pita elastis.

Gambar 10. Jaringan ikat padat elastis teratur
(Sumber: Selley's, Anatomy and Physiology 10th Edition)

Jaringan ikat padat tidak teratur mengandung serat protein tersusun sebagai anyaman, serat yang terorientasi secara acak. Jika tidak, serat dalam lapisan jaringan ikat padat tidak teratur dapat terorientasi dalam satu arah. Jaringan ikat padat tidak teratur membentuk helaian jaringan ikat yang mempunyai kekuatan dalam berbagai arah tapi kekuatan berkurang dalam satu arahdibandingkan jaringan ikat padatteratur. Jaringan ikat padat kolagen tidak teratur (gambar 11) membentuk kebanyakan dermis,bagian dalam kulit,juga kapsul jaringan ikat yang mengelilingi organ seperti ginjal dan organ limfa. Jaringan ikat elastis tidak teratur padat (gambar 12) ditemukan dalam dinding arteri elastis. Disamping itu, serat kolagen yang terorentasi dalam beberapa arah dan lapisan jaringan ini mengandung serat elastis yang banyak.

d. Jaringan Ikat Elastis

Sesuai dengan namanya, jaringan ikat elastis utamanya adalah serat elastin. Salah satu lokasinya adalah dalam dinding arteri besar. Pembuluh ini diregangkan ketika jantung berkontraksi dan memompa darah kemudian sebaliknya pembuluh ini rekoil ketika jantung berelaksasi. Jaringan ikat elastis juga ditemukan mengelilingi alveoli paru. Serat elastis diregangkan selama inhalasi,kemudian kembali selama ekshalasi. Jika Anda memperhatikan pernapasan Anda selama beberapa saat, Anda akan melihat bahwa pernafasan normal tidak memerlukan "kerja" atau energi, ini karena elastisitas normal dari paru. Jaringan ikat elastis memiliki serat elastis yang terkemas secara padat dalam matriks interseluler. Tipe jaringan ini memungkinkan dengan mudah untuk meregang dan kembali ke panjang aslinya seketika dalam kondisi istirahat. Pita suara dan ligamen yang menghubungkan vertebra yang berdekatan terdiri dari jaringan ikat elastis.

e. Jaringan Ikat Penyokong

1) Kartilago

Kartilago terdiri darisel kartilago dalam suatu matriks yang kaku secara ekstensif dan relatif. Hampir semua permukaan kartilago dikelilingi oleh lapisan jaringan ireguler padat yang disebut ***perichondrium***. Sel kartilago berasal dari *perichondrium* dan mensekresikan matriks kartilago.Kekuatan kartilago disebabkan karena serat kolagennya, selanjutnya kaitannya dengan tulang, kartilago adalah struktur kokoh dalam tubuh. Kartilago tidak

mempunyai pembuluh darah atau saraf, sehingga jika terjadi luka penyembuhannya sangat lambat karena sel dan nutrisi yang diperlukan untuk memperbaiki jaringan tidak dapat mencapai area dengan mudah. Atlet terkadang mengalami kerusakan kartilago dalam sendi lutut. Biasanya akan dilakukan pembedahan untuk memelihara mobilitas sendi sebaik mungkin.

Seperti halnya jaringan ikat lainnya, kartilago memiliki sedikit sel dan sejumlahbesar matriks ekstraseluler. Kartilago memiliki matriks berlimpah yang padat namun fleksibel karena mengandung banyak serat Matriks mengandung protein kondrin..Sel kartilago yang matang disebut **kondrosit** (gambar 13). Sel kartilago atau kondrosit ini berada dalam ruang yang disebut **Lakuna** yang tersebar ke seluruh matriks ekstraseluler. Kartilago tidak memiliki suplai darah karena mensekresikan faktor anti-angiogenesis yaitu suatu senyawa yang dapat mencegah pertumbuhan pembuluh darah. Karena sifat ini, faktor anti-angiogenesis dipelajari sebagai pengobatan kanker. Jika sel kanker dihentikan dari pembentukan pertumbuhan pembuluh darah baru, kecepatan laju pembelahan sel dan ekspansi dapat diperlambat atau bahkan dapat dihentikan.

Ada tiga tipe kartilago :

a) Kartilago Hialin

Kartilago hialin memiliki sejumlah besar serat kolagen dan proteoglikan. Serat kolagen tersebar secara merata diseluruh zat-zat substansial.Kartilago hialin dalam sendi memiliki permukaan yang sangat halus. Kartilago hialin umumnya ditemukan pada area yang menyokong kekuatan dan adanya fleksibilitas seperti pada tulang rusuk dan dalam trakea dan bronkus. Kartilago hialin juga menutupi permukaan tulang yang bergerak secara halus terhadap tulang lainnya dalam sendi. Kartilago hialin membentuk sebagian besar kerangka sebelum digantikan oleh tulang semasa embrio dan terlibat dalam pertumbuhan untuk meningkatkan panjang tulang. Ketika fetus dalam kandungan sistem kerangka terbuat seluruhnya dari kartilago hialin dan terlihat setelah 3 bulan pertama kehamilan. Sebagian besar kartilago hialin ini secara bertahap digantikan oleh tulang selama 6 bulan ke depan melalui proses yang disebut osifikasi. Namun beberapa kartilago hialin tetap sebagai penutup pada permukaan tulang sendi. Septum dari hidung kita juga tersusun dari kartilago hialin.

b) Fibrokartilago

Fibrokartilago memiliki serat kolagen yang lebih banyak dari proteoglikan. Dibandingkan dengan kartilago hialin, fibrokatilago memiliki bundelan serat kolagen yang lebih tebal dan tersebar melalui matriksnya. Jaringan ini ditemukan di lutut. Pada jaringan ini alas fibrokartilago membantu menyerap guncangan dan mencegah abrasi tulang ke tulang. Cedera fibrokartilago pada sendi lutut umumnya terkait dengan olahraga.

c) Kartilago elastis

Kartilago elastis memiliki sejumlah serat elastis selain kolagen dan proteoglikan yang tersebar ke seluruh matriksnya. Ditemukan di daerah yang memiliki sifat kaku, tetapi elastis seperti telinga bagian luar, epiglotis, dan tabung pendengaran.

2) Jaringan Tulang

Jaringan tulang adalah jaringan yang paling kaku dari semua jaringan ikat. Tulang berfungsi sebagai tempat pelekatan otot dan bertindak sebagai tuas mekanik untuk melakukan gerakan. Tulang juga berperan terhadap pembentukan sel darah dan berfungsi sebagai tempat penyimpan garam-garam mineral. Unit strktural silinder disebut **osteon**. Tulang merupakan organ yang terdiri dari beberapa jaringan ikat kuat dan keras yang terdiri dari sel hidup dan matriks mineral, meliputi tulang atau jaringan *osseus*, *periosteium*, dan *endosteium*.Matriks tulang terbuat dari garam kalsium dan kolagen yang kuat dan keras dan tidak fleksibel. Matriks tulang memiliki bagian organik dan anorganik. Bagian organik terdiri dari serat protein terutama kolagen dan molekul organik lainnya. Bagian mineral atau anorganik terdiri dari kristal khusus disebut hidroksiapatit yang mengandung kalsium dan fosfat sebagai tempat pembuatan sumsum tulang merah yang menghasilkan sel darah, dan menghasilkan sumsum kuning yang menghasilkan trigliserida. Kekuatan dan kekakuan dari matriks mineral ini memungkinkan tulang untuk menyokong dan melindungi jaringan dan organ lainnya. Sel tulang atau osteosit terletak dalam rongga matriks yang disebut lakuna dan mirip dengan lakuna kartilago. Ada dua tipe tulang :

- **Spongibone**: tampak seperti spons atau gabus.
- **Compact bone** : lebih padat dan hampir tidak ada ruang antara beberapa lapisan tipis atau lamella tulang (gambar 14)

Tidak seperti kartilago, **tulang kaya akan suplai darah** sehingga tulang dapat memperbaiki dirinya sendiri lebih cepat daripada kartilago. Kartilago, sendi, dan tulang membuat sistem kerangka. Sistem kerangka mendukung jaringan lunak, melindungi struktur halus, dan bekerja dengan otot rangka untuk menghasilkan gerakan.

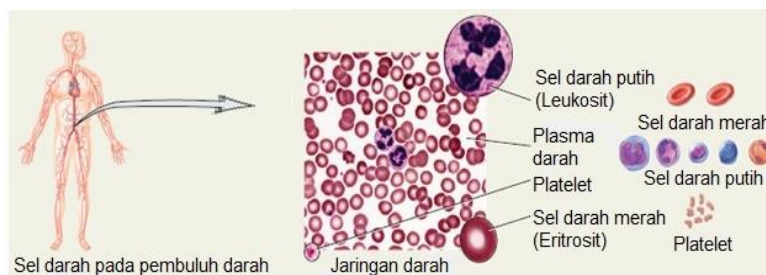
Beberapa tulang seperti sternum (tulang dada dan tulang pelvis) mengandung sumsum tulang merah terutama jaringan hemopoetik yang menghasilkan sel darah. Fungsi lain dari jaringan tulang adalah terkait dengan matriks tulang. Kerangka menyokong tubuh dan beberapa tulang melindungi organ internal dari cedera mekanik. Misalnya pada tulang paha tersusun beberapa jaringan tulang.

f. Jaringan Ikat Cair

1) Jaringan Darah

Darah adalah jaringan ikat yang unik karena hanya memiliki matriks cair. Darah bertindak sebagai pengangkut senyawa-senyawa ke seluruh tubuh. Darah terdiri dari sel dan plasma. Matriks darah adalah plasma darah yaitu sekitar 52 %- 62% dari total volume darah dalam tubuh.Plasma darah adalah jaringan berwarna kuning pucat yang terdiri dari sebagian

besar air dengan berbagai zat-zat terlarut seperti nutrisi, enzim, protein plasma, hormon, gas respirasi, ion, dan produk-produk yang sudah tidak dibutuhkan.

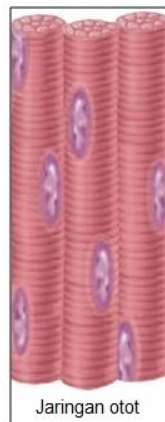
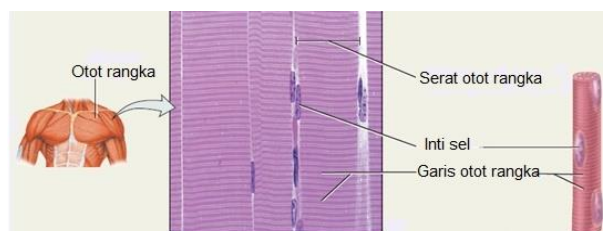
Sel darah dihasilkan dari *stem cell* dalam sumsum tulang merah (jaringan hemopoetik). Sel darah terdiri dari sel darah merah (eritrosit), platelet (trombosit), dan 5 jenis sel darah putih (leukosit) yaitu neutrofil, euseinofil, basofil, monosit, dan limfosit. Limfosit matang dan jaringan limfatik (organ limfa, kelenjar getah bening, dan kelenjar timus) juga mengandung *stem cell* tapi hanya menghasilkan sedikit limfosit. Sel darah merah membawa oksigen yang terikat dengan besi dalam bentuk hemoglobin.Platelet mencegah pendarahan yaitu melalui proses pembekuan darah. Sel darah putih menghancurkan patogen secara fagositosis dan memproduksi antibodi sehingga memberikan kita imunitas terhadap penyakit (gambar 11).

Gambar 11. Sel darah pada pembuluh darah
(Sumber: Tortora, Principles of Anatomy and Physiology, 2014)

2) Jaringan Limfa

Limfa adalah cairan ekstraseluler yang mengalir dalam pembuluh limfatik. Limfa adalah jaringan ikat cair yang terdiri dari beberapa tipe sel dalam matriks ekstraseluler cair yang jernih yang mirip dengan plasma darah, tetapi sedikit protein. Komposisi limfa bervariasi dari suatu bagian tubuh ke bagian lainnya. Contoh, limfa meninggalkan kelenjar getah bening meliputi beberapa limfosit. Sebaliknya, limfa dari usus kecil memiliki kandungan lemak tinggi yang baru diserap.

3. Jaringan Otot

Jaringan otot adalah jaringan khusus untuk kontraksi. Ketika berkontraksi, jaringan ini memendek dan menghasilkan tipe gerakan. Jaringan ini memiliki sel dalam jumlah banyak dan disuplai dengan pembuluh darah. Dalam jaringan otot, membran sel disebut sarkolema, dan sitoplasma disebut sarkoplasma. Jaringan otot terdiri dari sel-sel memanjang yang disebut serat otot atau miosit yang dapat menggunakan ATP untuk menghasilkan gaya. Sebagai hasilnya, jaringan otot mempertahankan postur tubuh, menghasilkan panas dan juga memberikan perlindungan. Karakteristik utama dari jaringan otot adalah kemampuannya untuk memendek dan menebal (kontraksi). Ini disebabkan karena adanya interaksi dari dua protein kontraktil yaitu aktin dan miosin yang membentuk mikrofilamen dalam sitoplasma dan bertanggung jawab dalam proses kontraksi. Otot berkontraksi untuk

menggerakkan seluruh tubuh, untuk memompa darah melalui jantung dan pembuluh darah, dan untuk mengurangi ukuran organ berongga seperti lambung dan kandung kemih.

Gambar 12. Jaringan otot
(Sumber: Tortora, Principles of Anatomy and Physiology, 2014)

Berdasarkan struktur dan fungsinya, terdapat 3 tipe jaringan otot yaitu, otot rangka, otot polos, dan otot jantung

a. Otot Rangka

Jaringan otot rangka atau lebih umum disebut sebagai otot ditemukan dalam daging manusia dan kandungannya sekitar 40 % dari berat tubuh individu. Jaringan ini juga menghasilkan sejumlah panas yang sangat penting untuk membantu mempertahankan suhu tubuh agar tetap konstan.

Otot rangka juga biasa disebut otot lurik (*striated muscle*) atau otot sadar.Sel (serat) otot rangka yang panjang dan berbentuk silinder mengandung banyak nukleus terletak di tepi seldan tampak bergaris (gambar 13). Setiap sel otot memiliki ujung saraf motorik sendiri. Impuls saraf yang berjalan ke otot sangat penting untuk menimbulkan kontraksi.

Otot rangka dikontrol oleh saraf sadar karena seseorang dapat sengaja menyebabkan kontraksi otot rangka untuk mencapai gerakan tubuh tertentu. Namun sistem saraf dapat menyebabkan otot rangka berkontraksi tanpa pengaruh kesadaran. Seperti yang terjadi pada gerakan refleks dan pemeliharaan tonus otot.

Gambar 13. Jaringan otot rangka
(Sumber: Tortora, Principles of Anatomy and Physiology, 2014)

b. Otot Polos

Otot polos polos juga disebut sebagai otot tak sadar (otot viseral). Istilah viseral mengacu kepada organ internal, yang banyak mengandung sel otot polos.Umumnya, otot polos bertindak untuk mendorong zat-zat melalui organ dengan kontraksi dan relaksasi. Disebut otot polos karena tidak memiliki garis atau pita seperti halnya pada otot rangka. Sel otot polos lebih pendek dari sel otot rangka. Berbentuk *spindle* dan meruncing pada ujungnya dan hanya memiliki satu nukleus yang terletak ditengah. Meskipun impuls saraf dapat menyebabkan kontraksi, otot polos umumnya tidak dapat dirangsang untuk berkontraksi oleh saraf sadar sehingga disebut sebagai otot tak sadar.Berarti kita tidak mengontrol kontraksinya, tetapi dikontrol oleh sistem saraf otonom.

Jaringan otot polos ditemukan dalam dinding organ tubuh berongga seperti lambung, usus, kandung kemih, uterus, dan pembuluh darah. Sel otot polos terususun dalam dua lapisan, lapisan longitudinal bagian luar dan lapisan sirkuler bagian dalam. Kontraksi simultan dari dua lapisan tersebut mendorong material ke dalam organ berongga dalam satu arah, karenanya makanan didorong oleh kontraksi otot polos sepanjang saluran pencernaan yang disebut *peristaltik* dan darah didorong sepanjang arteri dan vena. Urin juga didorong ke bawah menuju ureter oleh kontraksi otot polos.

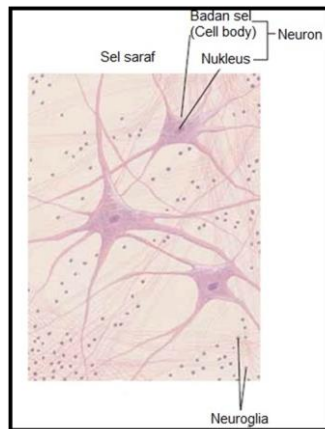
Dalam dinding arteri dan vena, otot polos mengonstriksi atau mendilatasi pembuluh untuk mempertahankan tekanan darah normal. Iris dari mata memiliki dua set otot polos untuk mengonstriksi atau mendilatasi pupil yang mengatur sejumlah cahaya yang masuk ke retina.

c. Otot Jantung

Otot jantung ditemukan hanya dalam dinding jantung. Sel otot jantung berbentuk silinder dan bercabang yang menghubungkan ke sel otot jantung lainnya. Cabang-cabang ini menghubungkan satu dengan yang lainnya melalui area khusus yang disebut *intercalated disk*. Otot jantung tampak bergaris mirip dengan sel otot rangka dan hanya memiliki satu nukleus setiap sel. Sel otot jantung lebih pendek daripada sel otot rangkadan otot polos. Otot ini bertanggung jawab untuk memompa darah melalui jantung dan ke dalam pembuluh darah.

4. Jaringan Saraf

Sel dalam jaringan saraf yang menghasilkan dan mengkonduksikan impuls disebut neuron (sel saraf) (gambar 13). Sel ini memiliki 3 bagian utama: dendrit, badan sel, dan satu akson. Neuron adalah sel yang sangat panjang sehingga seperti sel otot, jaringan ini disebut sebagai serat saraf. Penjelasan lebih detail tentang neuron akan dibahas pada sistem saraf. Jaringan saraf membentuk otak, sumsum tulang belakang, dan berbagai saraf tubuh. Jaringan saraf mengontrol dan mengkoordinasikan aktivitas tubuh. Jaringan ini memungkinkan kita untuk memahami lingkungan dan beradaptasi terhadap perubahan kondisi. Jaringan ini mengkordinasikan otot rangka kita, khususnya kepekaan pada penglihatan, rasa, bau, dan pendengaran. Jaringan ini mengontrol emosi dan kemampuan penalaran kita. Ini memungkinkan kita belajar melalui proses memori.

Jaringan saraf juga meliputi sel yang tidak dapat mentransmisikan impuls tetapi mendukung aktivitas neuron yaitu sel glial, bentuk gabungan yang disebut *neuroglia*, yaitu sel yang terikat bersama neuron dan melindungi neuron. Jaringan saraf terdiri dari sel saraf yang disebut neuron dan beberapa sel khusus ditemukan hanya dalam sistem saraf. Sistem saraf memiliki dua divisi: sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi.

Gambar 14. Sel saraf (neuron)
(Sumber: Sanders, Essentials of Anatomy and Physiology, 2006)

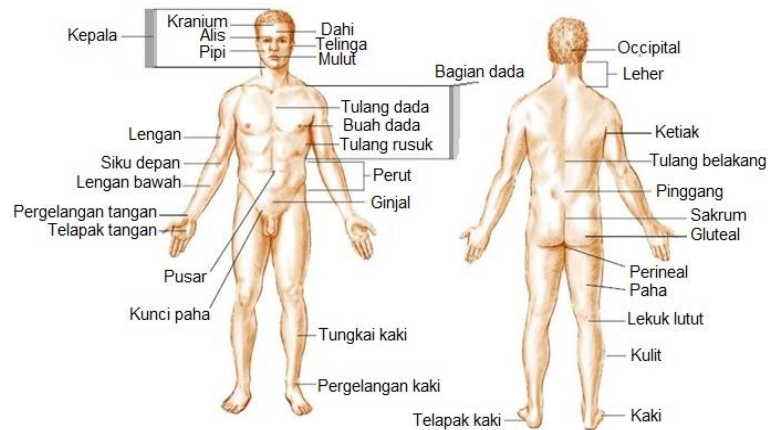
B. ORGAN

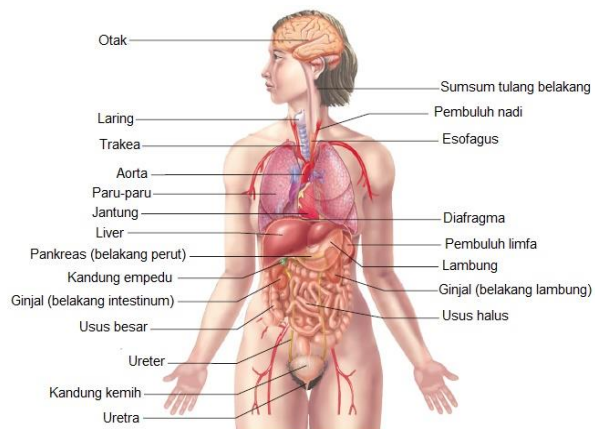
Organ terdiri dari dua atau lebih dari empat tipe jaringan yang tersusun dalam berbagai proporsi dan pola seperti sebagai lapisan, tabung, buntelan, dan irisan. Contoh, ginjal terdiri dari :

1. Serangkaian tabung kecil yang masing-masing terdiri dari epitel sederhana.
2. Pembuluh darah yang dindingnya mengandung berbagai jumlah otot polos dan jaringan ikat.
3. Perpanjangan dari neuron yang berakhir dekat otot dan sel epitel.
4. Elemen jaringan ikat longgar yang menghubungkan seluruh bagian ginjal dan termasuk kapsul pelindung yang mengelilingi organ.

Beberapa organ tersusun dalam unit yang kecil seperti subunit, yang sering disebut sebagai unit fungsional yang masing-masing melakukan fungsi organ. Contoh, unit fungsional dari ginjal adalah nefron yang mengandung tabung kecil. Intinya, kita memiliki sistem organ (kumpulan organ yang bersama melakukan fungsi secara keseluruhan). Contoh, ginjal, kandung kemih, ureter, dan uretra menyusun sistem urinari.

Kesimpulannya, tubuh manusia dapat dipandang sebagai suatu masyarakat yang kompleks dari suatu sel yang terdiferensiasi yang bergabung secara struktural dan fungsional untuk melakukan fungsi penting untuk kelangsungan hidup dari seluruh organisme. Sel-sel individual merupakan unit dasar dari masyarakat ini dan hampir semua sel-sel ini secara individual menunjukkan aktivitas yang mendasar untuk semua bentuk kehidupan seperti

metabolisme dan replikasi. Kunci utama untuk kelangsungan hidup seluruh sel tubuh adalah lingkungan internal tubuh. Ini mengacu pada cairan yang mengelilingi sel dan yang ada dalam darah. Setiap organ tubuh manusia terdiri dari dua atau lebih jaringan yang bekerja bersama sehingga memungkinkan organ untuk melakukan fungsi spesifiknya. Tubuh mengandung sejumlah organ dan masing-masing memiliki bentuk dan fungsi yang jelas. Lambung, jantung, otak, dan juga tulang merupakan contoh organ. Bagian organ dapat dibedakan menjadi dua bagian yakni anterior dan posterior (gambar 15).

Gambar 14. Organ bagian anterior dan posterior
(Sumber: Dr. Carson, The Anatomy and Physiology Learning System)

Beberapa contoh organ penting seperti otak, sumsum tulang belakang, pembuluh nadi, laring, esophagus, trakea, aorta, paru-paru, diafragma, jantung, liver, pankreas, lambung, kandung empedu, limfa, ginjal, usus halus, usus besar, ureter, kandung kemih, dan uretra (gambar 15).

Gambar 15. Organ dalam tubuh
(Sumber: Selley's, Anatomy and Physiology 10th Edition)

C. SISTEM ORGAN

Kelompok organ terorganisir dalam sistem tubuh. Setiap sistem merupakan kumpulan organ yang melakukan fungsi yang terkait dan berinteraksi untuk menyelesaikan aktivitas umum yang sangat penting untuk kelangsungan hidup tubuh secara keseluruhan. Contoh, sistem pencernan terdiri dari mulut, kelenjar saliva, faring, esofagus, lambung, pankreas, hati, kantung empedu, usus kecil dan usus besar. Organ pencernaan ini bekerja sama untuk memecahkan makanan menjadi molekul yang lebih kecil yang dapat diserap ke dalam darah untuk didistribusikan ke seluruh sel.

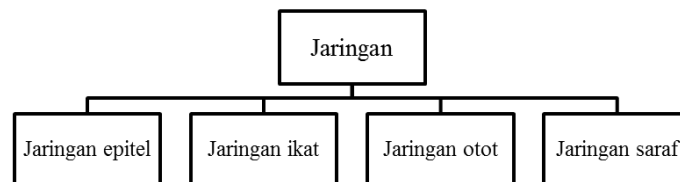
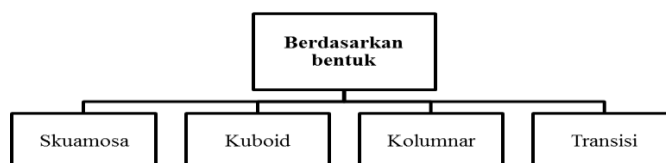
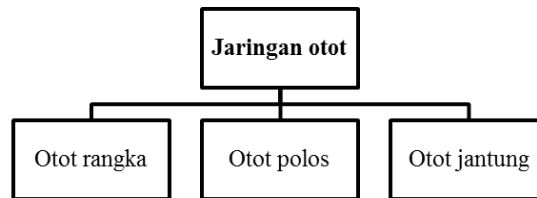
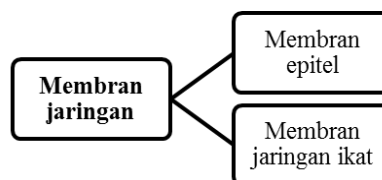
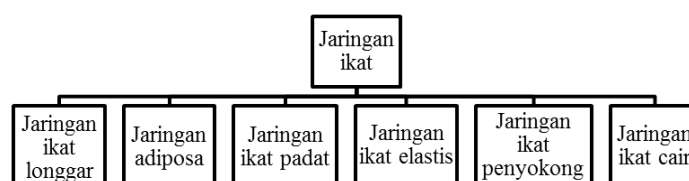
Organ tubuh tersusun dalam kelompok fungsional sehingga fungsi tunggal mereka akan terkoordinasi untuk melakukan fungsi sistem yang spesifik. Kelompok fungsional yang terkoordinasi ini disebut sistem organ. Sistem pencernaan dan saraf adalah contoh dari sistem organ. Sebagian besar organ milik satu sistem organ, tetapi beberapa organ ditugaskan untuk lebih dari satu sistem organ. Contoh, pankreas termasuk ke dalam sistem pencernaan dan endokrin. Tabel 1 merangkum sistem organ dan fungsinya. Meskipun masing-masing sistem organ memiliki fungsi yang unik, semua sistem organ saling terkait satu sama lain. Contoh, semua sistem organ bergantung pada sistem kardiovaskuler untuk mengangkut material-material ke dan dari sel mereka. Sistem organ bekerja bersama untuk mengaktifkan fungsi tubuh manusia.

Tabel 1
Sistem organ dan fungsinya

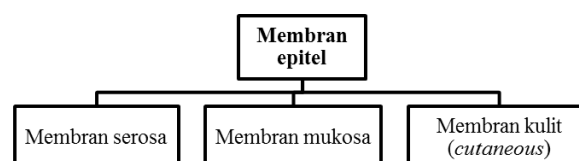
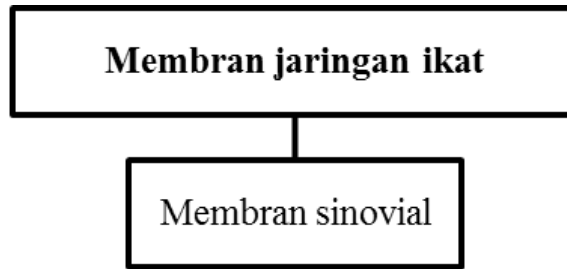
Sistem organ	Fungsi
Integumenta	melindungi jaringan di bawahnya dan membantu mengatur suhu tubuh
Kerangka	mendukung tubuh, melindungi organ vital, menyimpan mineral, dan menghasilkan unsur terbentuk
otot	menggerakkan tubuh dan bagian tubuh dan menghasilkan panas
Respirasi	menukar O_2 dan CO_2 antara udara dan darah di paru-paru, pengaturan pH, dan menghasilkan suara
Kardiovaskular	mengangkut panas dan material ke dan dari sel-sel tubuh
Limfoid	mengumpulkan dan membersihkan cairan interstisial, dan mengembalikannya ke darah; memberikan kekebalan tubuh
Perkemihan	mengatur volume dan komposisi darah dengan membentuk dan mengeluarkan urin
Endokrin	mensekresikan hormon dan mengatur tubuh
Saraf	mengkoordinasi secara cepat fungsi tubuh dan mempermudah pembelajaran dan memori
Pencernaan	mencerna makanan dan menyerap nutrisi

Sistem organ	Fungsi
Reproduksi pria	menghasilkan sperma dan mengirimkannya ke dalam vagina saat hubungan seksual
Reproduksi wanita	menghasilkan oosit, menerima sperma, menyediakan perkembangan intrauterin, pengembangan keturunan, dan memungkinkan kelahiran bayi

RINGKASAN

1) Jaringan adalah sekolompok sel dengan fungsi khusus dan zat-zat ekstrasel yang mengelilinginya.
2) Pengelompokan empat jaringan utama

3) Berdasarkan bentuknya, jaringan epitel dikelompokkan menjadi empat bentuk:

Berdasarkan tingkatannya, jaringan epitel juga dikelompokkan menjadi 4 tingkatan:

4) Secara umum, jaringan ikat dibagi menjadi 6 bagian yaitu, jaringan ikat longgar, jaringan adiposa, jaringan ikat padat, jaringan ikat elastis, jaringan ikat penyokong, dan jaringan ikat cair. Fungsi jaringan ikat yaitu menyokong dan memperkuat jaringan lain, melindungi organ tubuh, menyimpan energi cadangan, membentuk struktur tubuh, dan menjalankan sirkulasi.

5) Jaringan ikat penyokong terdiri atas jaringan kartilago (cartilage), dan jaringan tulang (bone). Sedangkan jaringan ikat cair terdiri dari jaringan darah (blood) dan jaringan limfa (lymph).
6) Berdasarkan struktur dan fungsinya, jaringan otot terbagi menjadi tiga bagian utama yaitu, jaringan otot rangka, otot polos, dan otot jantung.

7) Otot polos dan otot jantung bekerja di luar kesadaran manusia, sedangkan otot rangka bekerja atas kerja saraf, biasanya disebut otot sadar.
8) Jaringan saraf merupakan jaringan yang menjadi pusat semua aktivitas sel dan jaringan lainnya. Satu sel saraf disebut neuron. Adapun bagian utama dari neuron yaitu badan sel (cell body), akson (axon), dan dendrit (dendrite).
9) Jaringan saraf membentuk sistem saraf pusat meliputi otak dan sumsum tulang belakang. Selain itu, jaringan saraf juga membentuk serabut saraf lainnya
10) Jaringan saraf berfungsi untuk mengontrol semua aktivitas yang dilakukan oleh tubuh, membawa impuls ke sistem saraf pusat (otak atau sumsum tulang belakang) menuju ke efektor.
11) Organ adalah gabungan dari berbagai jenis jaringan yang terorganisiasi dalam fungsi tertentu.
12) Berdasarkan letaknya, organ dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu organ dalam dan organ luar. Yang termasuk organ dalam seperti jantung, hati, paru-paru, dan lambung. Sedangkan yang termasuk organ luar seperti kulit, mata, telinga, dan hidung.
13) Sistem organ adalah gabungan dari berbagai organ untuk melakukan fungsi tertentu didalam tubuh.
14) Membran jaringan secara umum dapat dibedakan menjadi dua kategori yaitu membran epitel dan membran jaringan ikat.

15) Membran epitel dibagi menjadi 3 bagian yaitu membran serosa, membran mukosa, dan membran cutaneous. Dan membran jaringan ikat hanya terdiri dari membran sinovial.

TES 3

Pilih salah satu jawaban yang paling tepat!

1) Perhatikan karakteristik berikut ini:
   1) Mudah berkontraksi
   2) Menutupi seluruh permukaan tubuh
   3) Tidak mempunyai pembuluh darah
   4) Tersusun dari beberapa jenis kelenjar
   5) Sebagai penghubung ke jaringan ikat oleh basement membran.

   Manakah yang merupakan karakteristik jaringan epitel?
   A. 1,2,3
   B. 2,3,5
   C. 3,4,5
   D. 1,2,3,4
   E. 2,3,4,5

2) Jaringan yang menutupi permukaan tubuh, tersusun dari sel lapisan sel yang tebal, dan terdiri dari sel-sel datar adalah....
   A. Epitel skuamosa sederhana
   B. Epitel kuboid sederhana
   C. Epitel skuamosa bertingkat
   D. Epitel kolumnar sederhana

3) Epitel bertingkat biasanya ditemukan pada area tubuh ketika melakukan aktivitas...
   A. Filtrasi
   B. Proteksi
   C. Sekresi
   D. Difusi

4) Manakah yang tidak menggambarkan karakteristik dari epitel skuamosa bertingkat non-keratinasi?
   A. Tersusun dari banyak lapisan sel

B. Terdiri dari sel-sel gepeng
C. Permukaan sel-sel hidup
D. Ditemukan pada kulit

5) Jenis epitel apakah yang dapat ditemukan di dalam kandung kemih?
A. Kuboid
B. Kolumnar
C. Transisi
D. Skuamosa

6) Sel epitel dengan mikrovili dapat ditemukan pada…
A. Dinding pembuluh darah
B. Dinding paru-paru
C. Dinding rahim
D. Dinding usus halus

7) Epitel pseudostratified bersilia dapat ditemukan pada dinding…
A. Kelenjar tiroid
B. Trakea
C. Tubuli ginjal
D. kandung kemih

8) Epitel kelenjar yang selama perkembangan embrio mengeluarkan produk seluler langsung ke dalam aliran darah disebut kelenjar…
A. Endokrin
B. Holokrin
C. Eksokrin
D. Merokrin

9) Sebuah kelenjar yang memiliki saluran dan strukturnya seperti kantung disebut…
A. Tubular sederhana
B. Tubular compound
C. Asinar compound
D. Asinar sederhana

10) Serat dalam jaringan ikat padat dihasilkan oleh…
A. Fibroblas
B. Adiposit
C. Osteoblas
D. Osteosit

11) Sebuah jaringan yang memiliki banyak serat kolagen dan terorganisir secara parallel satu sama lain ditemukan pada…
   A. Kartilago
   B. Tulang
   C. Otot
   D. Adiposa

12) Serat halus yang membentuk kerangka kerja organ seperti hati, limfa, dan kelenjar getah bening disebut…
   A. Serat kolagen
   B. Silia
   C. Mikrovili
   D. Serat retikuler

13) Jaringan ikat padat elastis ireguler dapat ditemukan di…
   A. Ligamen
   B. Kulit
   C. Aorta
   D. Jaringan adipose

14) Yang manakah pernyataan yang tidak sesuai tentang jaringan adiposa?
   A. Sebagai penyimpanan energi cadangan
   B. Merupakan salah satu tipe jaringan ikat
   C. Sebagai pelindung tubuh dan menghasilkan panas
   D. Adiposa coklat hanya ditemukan pada orang dewasa

15) Yang manakah tipe jaringan dibawah ini yang memiliki kadar matriks ekstraseluler paling kecil?
   A. Jaringan adiposa
   B. Jaringan tulang
   C. Jaringan ikat longgar
   D. Jaringan darah

16) Jaringan yang terdiri dari sel-sel yang terletak di lakuna dan dikelilingi oleh matriks padat dari hidroksiapatit adalah…
   A. Kartilago hialin
   B. Tulang
   C. Jaringan saraf
   D. Fibrokartilago

17) Yang manakah pernyataan dibawah ini yang tidak sesuai mengenai neuron?
   A. Neuron memiliki akson
   B. Neuron bipolar memiliki dua akson
   C. Neuron di dukung dan dilindungi oleh neuroglia
   D. Dendrit menerima signal eletrik dan membawa signal tersebut ke cell body

18) Sekelompok jaringan sejenis yang berkumpul dan melakukan fungsi tertentu disebut…
   A. Sel
   B. Epitel
   C. Organ
   D. Materi genetik

19) Sistem organ yang melakukan fungsi filtrasi, reabsorpsi, dan augmentasi pada ginjal disebut..
   A. Pencernaan
   B. Respirasi
   C. Sirkulasi
   D. Perkemihan

20) Dinding saluran pencernaan, respirasi, ekskresi, dan reproduksi adalah bagian dari…
   A. Membran serosa
   B. Membran mukosa
   C. Membran sinovial
   D. Endotelium

Kunci Jawaban Tes

Tes 1

1) A
2) E
3) B
4) D
5) C

Tes 2

1) B
2) D
3) A
4) B
5) A
6) D
7) D
8) C
9) D
10) C

Tes 3

1) E
2) C
3) C
4) D
5) C
6) D
7) B
8) A
9) C
10) A
11) A
12) D
13) C
14) D
15) C
16) B
17) B
18) C
19) D
20) B

Daftar Pustaka

Carson, The Anatomy and Physiology Learning System (4E).

Eleine Nicpon Mareib, 2013, Human anatomy and Physicology.

Gerard Tortora, 2014, Principles of Anatomy and Physiology,.

Gunstream Stanley, 2015, Anatomy and Physiology with Integrated Study.

Guyton , Hall JE. Buku ajar Fisiologi Kedokteran (terjemahan), Edisi 9, Jakarta, EGC

Marieb Elaine Nicpon, 2013, Human Anatomy and Physiology

Phillip E. Pack, 2007, Cliffs Anatomy and Phisiology, New York.

Rizzo C Donald, 2015, Fundamentals of Anatomy and Physiology.

Rodney Rhoades, David R Bell, 2013, Medical physiology principles for clinical medicine.

Saladin, 2003, Anatomy and Physiology The Unity of Form and Function.

Sanders Tina, Scanlon Valerie, 2006, Essentials of Anatomy and Physiology,.

Seeley , H. 2002. Human Physiology, Edisi 7, Boston, Mc Graw- HILL

Seeley's, 2014, Anatomy & Physiology, Ed. Ke-10.

Sherwood, L . 2001, Fisiologi Manusia Dari Sel ke Sistem (terjemahan), Edisi 2. Jakarta, ECG

Sherwood, 2014: Human, Physiology - From Cells to Systems

Sue Longenbaker, 2010,Understanding Human Anatomy and Physiology Ed. Ke-7.

Vander’s. 2014, Human Physiology, Edisi 13, New York : McGraw-Hill.

BAB II
SISTEM SARAF

Raimundus Chaliks, S.Si. M.Sc. Apt.

PENDAHULUAN

Bagaimana Anda tahu bunga tampak seperti apa, bagaimana sebuah lagu terdengar, bagaimana sentuhan kapas wol, bagaimana rasanya coklat dan bagaimana bau roti yang baru dipanggang? Anda mungkin menjawab dengan apa yang Anda ketahui tentang ini karena organ-organ indera Anda, tetapi ini tidak sepenuhnya benar. Indera mengambil informasi dari lingkungan eksternal dan lingkungan internal, tetapi apa yang terjadi berikutnya adalah perjalanan luar biasa sepanjang bermil-mil dari serat kecil ke otak dan kembali lagi. Perjalanan ini berlangsung dalam sistem saraf, sistem utama tubuh manusia yang berperan dalam komunikasi dan koordinasi.

Sistem saraf juga mengontrol apa yang terjadi secara otomatis yang Anda mungkin kurang menyadarinya di tubuh Anda. Seperti jantung terus berdenyut, makanan yang tercerna, udara yang lewat di dan keluar dari paru-paru, dan menyembuhkan luka. Dalam kenyataannya, sistem saraf mengontrol segala sesuatu yang tubuh lakukan, apakah Anda sadar atau tidak.

Sistem saraf adalah kumpulan dari miliaran sel khusus dan jaringan ikat dan terdiri dari dua bagian utama. Bagian sentral terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang dan disebut sistem saraf pusat (SSP). Bagian di luar disebut sistem saraf tepi (perifer) (SST).

Bab 2 ini akan dipaparkan dalam 3 topik, yaitu:

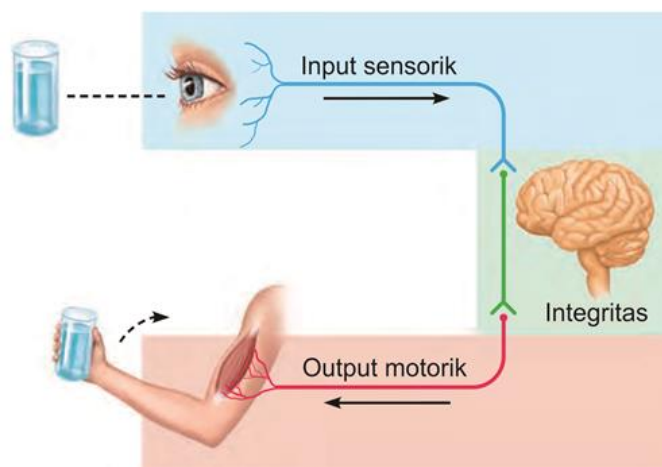
- Topik 1. Sistem Saraf
- Topik 2. Sistem Saraf Pusat
- Topik 3. Sistem Saraf Tepi

Topik 1
Sistem Saraf

Sistem saraf adalah pusat kontrol tubuh, pengaturan dan jaringan komunikasi. Dia mengarahkan fungsi organ dan sistem tubuh. Pusat dari semua aktivitas mental, meliputi pemikiran, pembelajaran, dan memori.

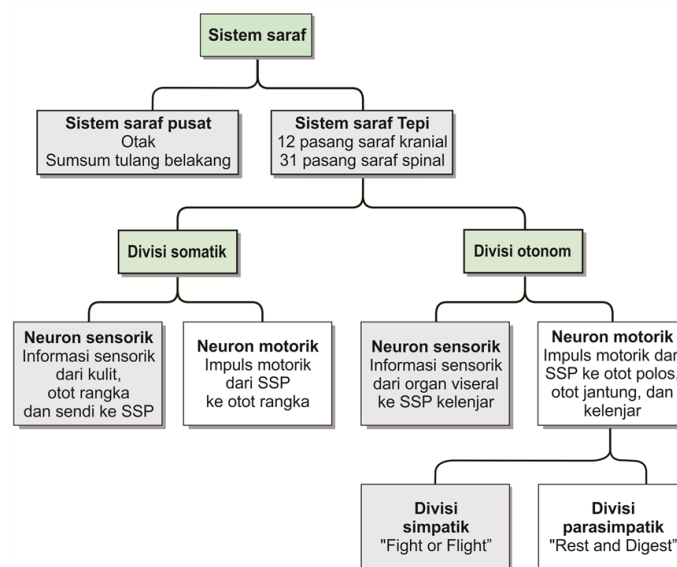
Sistem saraf bersama-sama dengan sistem endokrin dalam mengatur dan mempertahankan homeostasis (lingkungan internal tubuh kita) dengan mengontrol kelenjar endokrin utama (hipofisis) melalui hipotalamus otak. Melalui reseptornya, sistem saraf membuat kita berhubungan dengan lingkungan kita, baik eksternal dan internal. Seperti sistem lain dalam tubuh, sistem saraf terdiri dari organ, terutama otak, sumsum tulang belakang, saraf, dan ganglia, yang pada gilirannya, terdiri dari berbagai jaringan, termasuk saraf, darah, dan jaringan ikat yang secara bersama melaksanakan kegiatan yang kompleks dari sistem saraf.

Berbagai aktivitas sistem saraf dapat dikelompokkan bersama dalam tiga kategori umum. Tiga fungsi yang tumpang tindih, diilustrasikan dengan contoh dari orang yang haus melihat dan kemudian mengangkat segelas air: (gambar 1)

- Fungsi sensorik.
  Sistem saraf menggunakan jutaan reseptor sensorik nya untuk memantau perubahan yang terjadi baik di dalam dan luar tubuh. Informasi yang dikumpulkan disebut input sensorik
- Fungsi Integritas
  Sistem saraf memproses dan menafsirkan input sensorik kemudian memutuskan apa yang harus dilakukan pada setiap saat. Proses ini disebut integrasi.
- Fungsi motorik
  Sistem saraf mengaktifkan organ efektor, (otot dan kelenjar) untuk menimbulkan respon. Proses ini disebut output motorik.

Gambar 1. Fungsi sistem saraf

Organisasi

Sistem saraf dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama (gambar 2, bagan sistem saraf). Yang pertama adalah sistem saraf pusat (SSP), yang merupakan pusat kontrol untuk seluruh sistem dan pusat integrasi saraf tubuh. Ini terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang. Menerima informasi yang masuk (impuls saraf), analisis dan mengorganisasikannya, dan memulai tindakan yang tepat. Semua sensasi tubuh dan perubahan lingkungan eksternal kita harus disampaikan dari reseptor dan organ perasa ke SSP untuk ditafsirkan (apa yang mereka maksud). Dan kemudian, jika perlu, bertindak atas (seperti menjauh dari sumber rasa sakit atau bahaya).

Kategori utama kedua adalah sistem saraf tepi (SST), yang juga akan dibahas dalam bab ini pada topik 2.

Gambar 2. Organisasi sistem saraf

Klasifikasi Sel Saraf

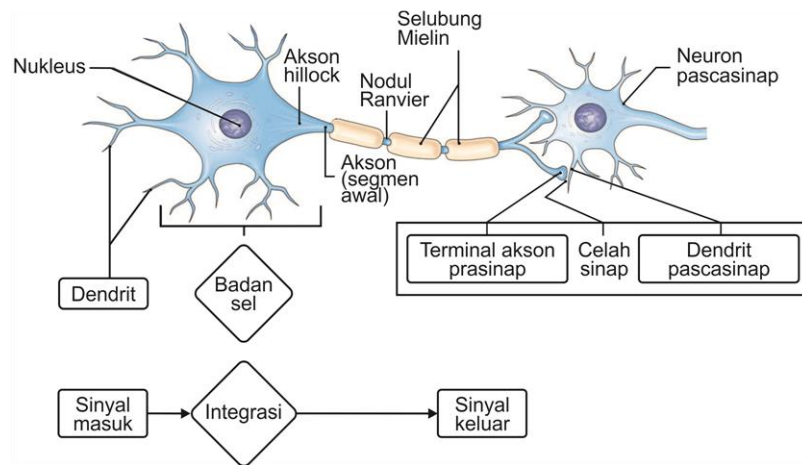
Jaringan saraf terdiri dari kelompok sel saraf atau neuron yang mengirimkan informasi disebut impuls saraf dalam bentuk perubahan elektrokimia, dan merupakan sel konduksi. Neuron adalah sel saraf yang sesungguhnya. Jaringan saraf juga terdiri dari sel-sel yang melakukan dukungan dan perlindungan. Sel-sel ini disebut neuroglia atau sel glial. Lebih dari 60% dari semua sel otak adalah sel neuroglia. Neuroglia ini bukan sel konduksi. Mereka adalah jenis khusus dari "jaringan ikat" untuk sistem saraf.

Neuron

Neuron, atau sel-sel saraf, adalah unit struktural dan fungsional dari sistem saraf. Mereka adalah sel halus yang khusus untuk menghasilkan dan mengirimkan impuls saraf. Neuron dapat bervariasi dalam ukuran dan bentuk, tetapi mereka memiliki banyak ciri-ciri yang umum. Neuron bersifat amitotik. Ini berarti bahwa jika neuron mengalami kerusakan, tidak dapat digantikan karena neuron tidak mengalami mitosis. Neuron memiliki dua karakteristik fungsional yang unik: iritabilitas dan konduktivitas. Iritabilitas adalah

kemampuan untuk menanggapi rangsangan dengan membentuk impuls saraf. Konduktivitas adalah kemampuan untuk mengirimkan impuls saraf sepanjang akson ke neuron lain atau sel efektor. Karakteristik ini memungkinkan berfungsinya sistem saraf. Pensinyalan atau sinyal lewat melalui baik sarana listrik dan kimia.

Setiap neuron memiliki tiga bagian:

- Badan sel
- Satu atau lebih dendrit
- Satu akson

Gambar 3. Neuron dan bagian-bagiannya

A. BADAN SEL

Badan sel saraf merupakan bagian yang paling besar dari sel saraf. Setiap badan sel saraf mengandung inti tunggal (gambar 3). Inti ini merupakan pusat kontrol sel. Badan sel berfungsi untuk menerima rangsangan dari dendrit dan meneruskannya ke akson. Pada badan sel saraf terdapat inti sel, sitoplasma, mitokondria, sentrosom, badan golgi, lisosom. Dalam sitoplasma badan sel, ada retikulum endoplasma kasar [reticulum endoplasmic rough (RER)]. Dalam neuron, ER kasar memiliki struktur granular disebut sebagai badan Nissl, juga disebut zat chromatophilic, dan merupakan tempat sintesis protein.

B. DENDRIT

Dendrit adalah serabut sel saraf pendek dan bercabang- cabang, seperti cabang-cabang pohon. Dendrit merupakan perluasan dari badan sel. Ini adalah daerah reseptif neuron. Dendrit berfungsi untuk menerima dan mengantarkan rangsangan ke badan sel.

C. AKSON

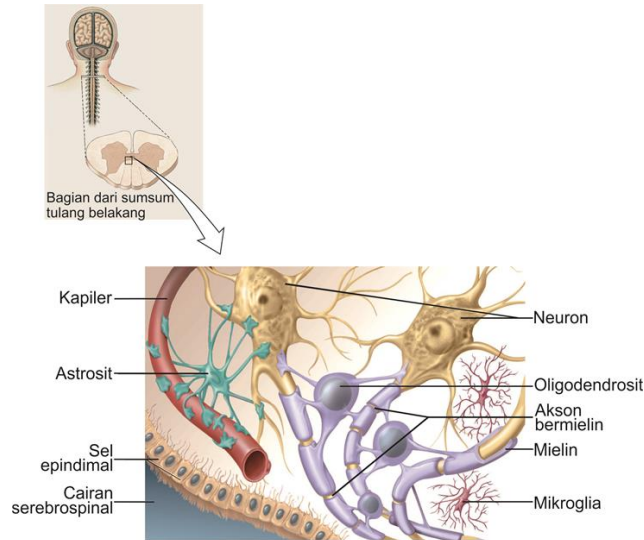
Akson adalah serabut sel saraf panjang yang merupakan penjuluran sitoplasma badan sel. Akson hilock, adalah prosesus panjang atau serat yang dimulai secara tunggal tetapi dapat bercabang dan pada ujungnya memiliki banyak perpanjangan halus disebut terminal akson yang kontak dengan dendrit dari neuron lainnya. Benang-benang halus yang terdapat di dalam akson disebut neurofibril. Neurofibril dibungkus oleh beberapa lapis selaput mielin yang banyak mengandung zat lemak dan berfungsi untuk mempercepat jalannya rangsangan. Pada bagian luar akson terdapat lapisan lemak disebut mielin yang merupakan kumpulan sel Schwann yang menempel pada akson. Sel Schwann adalah sel glia yang membentuk selubung lemak di seluruh serabut saraf mielin. Membran plasma sel Schwann disebut neurilemma. Fungsi mielin adalah melindungi akson dan memberi nutrisi. Bagian dari akson yang merupakan celah sempit dan tidak terbungkus mielin disebut nodus Ranvier, yang berfungsi mempercepat penghantaran impuls.

Mengecek Kemajuan Belajar dan Pemahaman Anda Jelaskan fungsi neuron secara fungsional dan struktual.

1. Sel Neuroglia

Ada berbagai jenis sel neuroglia, dan, tidak seperti neuron, mereka tidak menkonduksikan impuls, sehingga juga disebut sel non-saraf atau sel glial. Mereka mendukung, memelihara, dan melindungi neuron. Jumlahnya jauh lebih banyak (10 – 15 kali) daripada neuron dan, tidak seperti neuron, sel neuroglia dapat bermitosis. Sel neuroglia memainkan peran penting dalam reaksi saraf selama infeksi. Umumnya, sel-sel neuroglia merupakan lokasi tumor pada sistem saraf. Salah satu jenis neuroglia adalah sel Schwann, yang ada di sistem saraf tepi (SST). Empat jenis neuroglia lainnya ada di SSP, dimana jumlahnya bahkan lebih banyak dari neuron (gambar 4). Sel-sel neuroglia didistribusikan dalam sistem saraf pusat (SSP) serta sistem saraf perifer (SST). Dengan demikian sel-sel neuroglia diklasifikasikan menjadi dua jenis:

- Sel neuroglial sentral
- Sel neuroglial tepi (perifer).

Tabel 1 mencantumkan enam jenis neuroglia. Sebagian penulis mengklasifikasikan hanya empat jenis sel pendukung ditemukan di SSP sebagai sel neuroglia sejati.

Gambar 4. Sel Glia dari sistem saraf pusat

Astrosit adalah sel berbentuk bintang yang membungkus sel-sel saraf untuk membentuk jaringan pendukung di otak dan sumsum tulang belakang. Astrosit juga bergabung dengan epitel pembuluh darah untuk membentuk sawar darah otak, yang melindungi neuron dengan mengatur secara ketat pertukaran material antara darah dan neuron.

Oligodendroglia terlihat seperti astrosit kecil. Mereka juga memberikan dukungan dengan membentuk baris semikaku seperti jaringan ikat antara neuron di otak dan sumsum tulang belakang. Mereka menghasilkan selubung mielin berlemak pada neuron otak dan sumsum tulang belakang dari SSP, tetapi mereka tidak membentuk neurilemma. Kurangnya neurilemma adalah salah satu faktor yang berkontribusi terhadap ketidakmampuan akson dalam otak dan sumsum tulang belakang untuk regenerasi setelah cedera.

Sel mikroglia adalah sel kecil yang melindungi SSP (tersebar di seluruh SSP) berperan untuk menelan dan menghancurkan mikroba seperti bakteri dan kotoran selular.

Sel ependimal melapisi ventrikel otak yang berisi cairan. Sebagian memproduksi cairan serebrospinal dan lain-lain dengan silia mengerakkan cairan melalui SSP. Sel Schwann membentuk selubung mielin yang mengelilingi serat saraf di SST.

Tabel 1
Jenis, lokasi dan fungsi sel glia

Jenis Sel	Lokasi	Deskripsi	Fungsi Utama
Astrosit	SSP	Berbentuk bintang; banyak menjalarkan prosesus dengan ujung bulat untuk pelekatan	- Mengikat pembuluh darah ke saraf; mengatur komposisi cairan di sekitar neuron - Dalam sawar darah otak

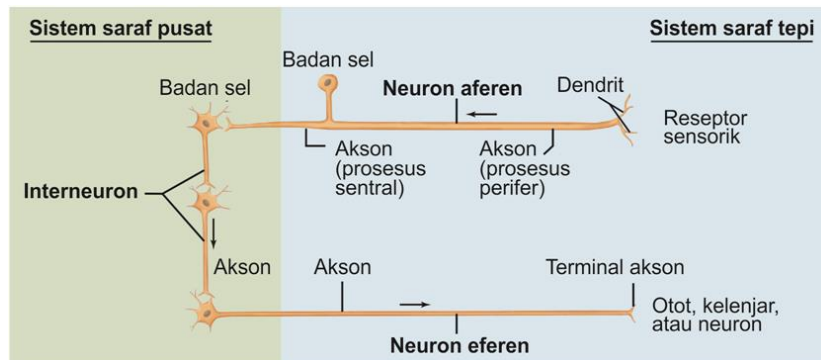
Jenis Sel	Lokasi	Deskripsi	Fungsi Utama
			mencegah senyawa-senyawa toksik yang akan memasuki otak
Sel epindemal	SSP	Sel kolomnar dengan silia	- Berperan aktif dalam pembentukan dan sirkulasi CSS - Membentuk lapisan rongga di otak dan sumsum tulang belakang
Mikroglia	SSP	Sel kecil dengan prosesus panjang, makarofag dimodifikasi	- Bertindak sebagai fagosit dalam SSP, berkumpul dimanapun cedera atau infeksi terjadi
Oligodendroglia/ oligodendrosit	SSP	Sel kecil dengan jumlah sedikit, tapi panjang, prosesus yang membungkus akson	- Membentuk selubung mielin di sekitar akson - Memberikan dukungan dan koneksi
Sel Schwann	SST	Sel glia utama pada SST Sel datar, panjang, prosesus datar yang membungkus di sekitar akson pada SST, memiliki neurilemma	- Membetuk selubung mielin di sekitar akson pada SST - Berperan aktif dalam regenerasi serat saraf
Sel satellite	SST	Terdapat pada permukaan luar neuron SST Sel datar, mirip dengan sel Schwann	- Mendukung badan sel saraf dalam ganglia

2. Pengelompokan Jaringan Saraf

Dalam sistem saraf, sejumlah istilah digunakan untuk menggambarkan organisasi jaringan saraf. Hal ini penting untuk memahami arti dari istilah-istilah ini. Substansi putih merujuk pada kelompok akson bermielin (mielin memiliki warna keputihan) dari banyak neuron didukung oleh neuroglia. Substansi putih membentuk traktus saraf dalam SSP. Daerah abu-abu dari sistem saraf disebut subastansi abu-abu, yang terdiri dari badan sel saraf dan dendrit. Hal ini juga dapat terdiri dari bundel akson tak bermielin dan neuroglia mereka. Substansi abu-abu pada permukaan otak disebut korteks.

Sebuah saraf adalah bundel dari serat-serat yang terletak di luar SSP. Sebagian besar saraf adalah substansi putih. Badan sel saraf yang ditemukan di luar SSP umumnya dikelompokkan bersama untuk membentuk ganglia. Karena ganglia terdiri terutama dari badan sel saraf yang tak bermielin, mereka dikelompokkan substansi abu-abu. Dua istilah lainnya yang penting: inti (nukleus) adalah massa badan sel saraf dan dendrit di dalam SSP,

yang terdiri dari substansi abu-abu; tanduk (horn) adalah daerah materi abu-abu di sumsum tulang belakang.

Neuron dikelompokkan berdasarkan struktur dan fungsinya. Berdasarkan fungsinya dibedakan menjadi tiga, yaitu neuron aferen, neuron eferen dan interneuron (gambar 5; tabel 2).

Gambar 5. Tiga kelompok neuron. Tanda panah menunjukkan arah transmisi aktivitas saraf. Neuron aferen dimana SST umumnya menerima input pada reseptor sensorik. Komponen eferen dari SST dapat berakhir pada otot, kelenjar, neuron, atau sel efektor lainnya. Keduanya komponen aferen dan eferen dapat terdiri dari dua neuron, tidak satu seperti yang ditunjukkan di sini.

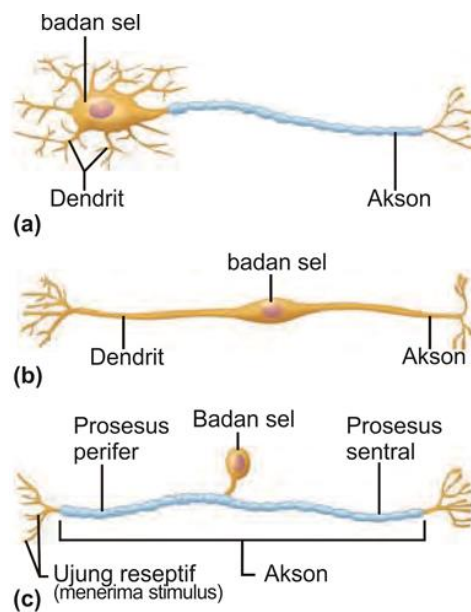
Tabel 2
Karakteristik Tiga Jenis Fungsional Neuron

Karakteristik
I. Neuron aferen A. Menyampaikan informasi ke SSP dari reseptor di ujung perifer nya B. Prosesus tunggal dari badan sel membelah menjadi prosesus perifer panjang (akson) yang berada di SSO dan prosesus pusat pendek (akson) yang berada di SSP
II. Neuron eferen A. Menyampaikan informasi dari SSP ke sel efektor, utamanya sel otot, kelenjar, dan sel lainnya B. Badan sel dengan beberapa dendrit dan segmen kecil akson berada di SSP, sebagian besar akson berada di SSO
III. Interneuron A. Berfungsi sebagai integrator dan pengubah sinyal B. Terletak seluruhnya dalam SSP C. Berjumlah > 99 % dari semua neuron

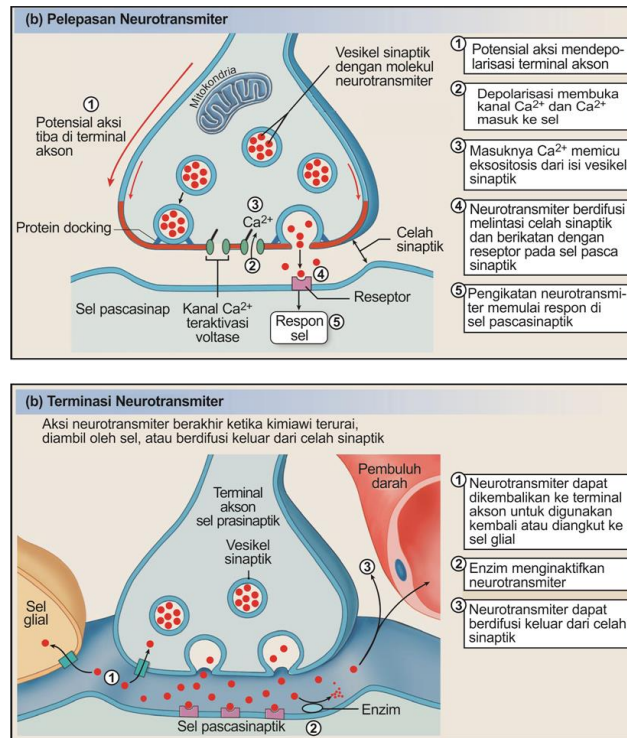
Secara struktur ada tiga jenis neuron, yaitu: multipolar, bipolar, dan unipolar (gambar 6).

a. Neuron multipolar. Memiliki beberapa dendrit dan satu akson yang memanjang dari badan sel. Sebagian besar neuron yang badan selnya terletak di otak dan sumsum tulang belakang adalah neuron multipolar.

b. Neuron bipolar. Hanya memiliki dua prosesus: dendrit dan akson, memanjang dari ujung yang berlawanan dari badan sel. Neuron bipolar terdapat pada bagian sensorik dari mata, telinga, dan hidung.

c. Neuron unipolar. Memiliki satu prosesus yang memperpanjang dari badan sel.

Gambar 6. Jenis struktural neuron. (a) Neuron multipolar. (b) Neuron bipolar. (c) Neuron unipolar (pseudounipolar)

Sinapsis

Sinapsis merupakan hubungan penyampaian impuls dari satu neuron ke neuron yang lain. Peristiwa ini terjadi dari ujung percabangan akson (terminal akson) dengan ujung dendrit neuron yang lain. Celah antara satu neuron dengan neuron yang lain disebut dengan celah sinapsis. Loncatan-loncatan listrik yang bermuatan ion terjadi dalam celah sinapsis, baik ion positif dan ion negatif. Di dalam sitoplasma sinapsis, terdapat vesikel sinapsis. Ketika impuls mencapai ujung neuron (terminal akson), vesikel akan bergerak, lalu melebur dengan membran prasinapsis dan melepaskan neurotransmiter. Neurotranmiter berdifusi melalui celah sinapsis, lalu menempel pada reseptor di membran pascasinapsis (gambar 7).

RINGKASAN

- Fungsi umum dari sistem saraf dapat diringkas sebagai:
  - Mendeteksi perubahan internal dan eksternal
  - Analisis perubahan terdeteksi
  - Organisasi informasi untuk digunakan segera dan selanjutnya
  - Inisiasi tindakan yang tepat dalam menanggapi perubahan
- Secara anatomi sistem saraf terbagi menjadi sistem saraf pusat (SSP), terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang, dan sistem saraf tepi (sistem saraf aferen dan eferen), terdiri dari saraf kranial (tengkorak) dan spninal (tulang belakang), ganglia, dan reseptor sensorik.
- SSP terletak di bagian tengah tubuh, dan SST terletak secara perifer terhadap SSP.
- Secara fungsional terbagi menjadi divisi sensorik dan motorik. Divisi sensorik terbagi lagi menjadi sistem saraf somatik (SSS) yang terlibat dalam aksi sadar (volunter) dan sistem saraf otonom (SSO) yang terlibat dalam respon tak sadar (involunter).
- Jaringan saraf terdiri dari neuron dan neuroglia.
- Sebuah neuron terdiri dari badan sel, yang mengandung nukleus, satu atau lebih dendrit yang menkonduksikan ke badan sel atau akson; dan satu akson yang menkonduksikan impuls saraf dari badan sel atau dendrit.
- Akson bermielin tertutup oleh selubung mielin. Sel Schwann membentuk selubung mielin dan neurilemma dari akson bermielin perifer. Oligodendrosit membentuk selubung mielin dari akson bermilein di SSP; akson ini kurang memiliki neurilemma. Neuroglia mendukung, melindungi, dan memelihara neuron.

- Secara struktrur ada tiga jenis neuron, yaitu multipolar, bipolar, dan unipolar.
- Secara fungsional ada tiga jenis neuron. Neuron sensorik yang membawa impuls saraf ke SSP. Interneuron yang membawa impuls saraf dalam SSP. Neuron motorik yang membawa impuls saraf dari SSP.
- Sel Schwann adalah neuroglia dalam SST. Empat jenis neuroglia terdapat di SSP: oligodendrosit, asterosit, sel mikroglial, dan sel epindemal.
- Neuron spesial untuk membentuk dan melakukan impuls saraf.
- Dalam transmisi sinaptik neuron ke neuron, bouton terminal (terminal akson) mensekresikan neurotransmiter ke dalam celah sinaptik. Neurotransmiter mengikat reseptor pada neuron pascasinaptik, menyebabkan pembentukan impuls saraf atau penghambatan pembentukan impuls saraf. Kemudian, neurotransmiter yang dengan cepat dihilangkan oleh reabsorpsi ke bouton terminal, suatu reaksi enzimatik atau difusi keluar dari celah sinaptik.
- Neurotransmiter perifer yang paling umum adalah asetilkolin dan norepinefrin. Beberapa neurotransmiter bersifat eksitatori, sedangkan yang lainnya inhibitori.

TES 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Bagian dari sistem saraf yang mengontrol polos, otot jantung, dan kelenjar adalah...
   A. Sistem saraf somatik.
   B. Sistem saraf otonom
   C. Divisi skeletal
   D. Divisis ensorik
   E. Divisi motorik

2) Neuron yang ditemukan pada organ indra, seperti mata, telinga, dan hidung adalah neuron…
   A. Neuron bipolar
   B. Neuron unipolar
   C. Neuron multipolar
   D. Neuron sensorik
   E. Neuron motorik

3) Yang menghantarkan impuls listrik dari reseptor pada kulit, organ indra atau organ internal ke sistem saraf pusat adalah neuron…
   A. Neuron bipolar
   B. Neuron unipolar
   C. Neuron multipolar

D. Neuron sensorik
E. Neuron motorik

4) Suatu neurontransmitter (zat kimia) dilepas dari terminal akson prasinaptik, bergerak melintasi celah sinaptik dan melekat pada reseptor membran pascasinaptik merupakan proses dari…
A. Sinaps eksitatori
B. Sinaps kimiawi
C. Sinaps inhibitori
D. Sumasi
E. Inaktivasi

5) NeuronMotor dan neuron interneuron merupakan neuron...
A. Pseudo-unipolar
B. Bipolar
C. Multipolar
D. Aferen
E. Eferen

6) Pusat penting untuk denyut jantung, tekanan darah, pernapasan, menelan, batuk, dan muntah terletak di...
A. Serebrum
B. Medula oblongata
C. Otak tengah
D. Pons
E. Otak kecil (serebelum)

7) Stasiun pemancar utama untuk input sensorik yang menjulur ke korteks serebral adalah...
A. Hipotalamus
B. Talamus
C. Pons
D. Otak kecil (serebelum)
E. Otak tengah

8) Molekul yang larut air dari plasma melintasi sawar darah otak secara...
A. Difusi
B. Endositosis
C. Eksositosis
D. Simport
E. Filtrasi

Topik 2
Sistem Saraf Pusat

Sistem saraf pusat (SSP) terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang, yang terletak di rongga tubuh dorsal. Ini adalah sangat penting untuk kesejahteraan kita dan tertutup dalam tulang untuk perlindungan. Otak bersambungan dengan sumsum tulang belakang di foramen magnum. Fungsi utama dari sumsum tulang belakang adalah untuk menyampaikan impuls sensorik dari tepi (perifer) ke otak dan untuk mengkonduksikan impuls motorik dari otak ke tepi.

Perlindungan Sistem Saraf Pusat

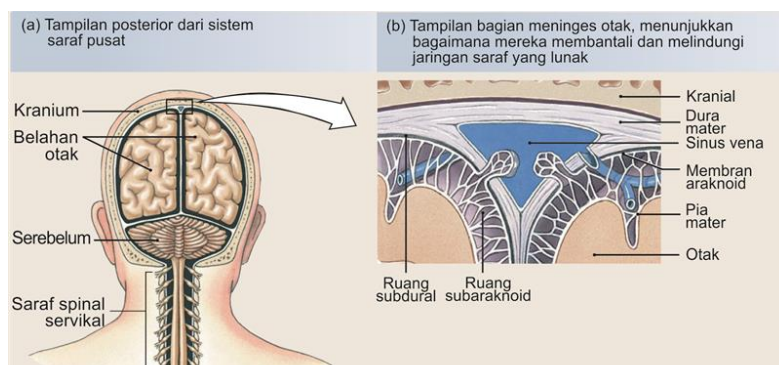
Keduanya otak dan sumsum tulang belakang adalah lunak, organ halus yang akan mudah rusak tanpa perlindungan yang memadai. Sekitar tulang dan membran fibrosa memberikan perlindungan dan dukungan. Otak menempati rongga tengkorak dibentuk oleh tulang tengkorak (kranial), dan sumsum tulang belakang terletak di dalam kanal tulang belakang yang dibentuk oleh tulang belakang. Tiga membran terletak antara SSP dan tulang sekitarnya. Membran ini secara kolektif disebut meninges.

Meninges

Meninges adalah tiga membran jaringan ikat yang terletak eksternal ke organ SSP (gambar 8).

Meninges:

- Menutupi dan melindungi SSP
- Melindungi pembuluh darah dan megelilingi sinus vena
- Mengandung cairan serebrospina
- Membentuk partisi di tengkorak kepala

Dari eksternal ke internal, meninges adalah dura mater, araknoid mater, dan pia mater. Ruang antara pia mater dan arachnoid mater, disebut ruang subaraknoid, terisi dengan CSS.

Gambar 8. Meninges

Cairan Serebrospinal

Cairan serebrospinal, atau (CSS), adalah bening, cairan berair yang menggenangi SSP, komposisinya mirip (tapi tidak identik) dengan plasma darah dari mana dia terbentuk. Namun, mengandung sedikit protein daripada plasma dan konsentrasi ion yang berbeda. Sebagai contoh, CSS mengandung lebih banyak ion Na+, Cl-, dan H+ daripada plasma darah, dan sedikit Ca2+ dan K+. CSS sepenuhnya mengelilingi SSP dan mengisi sejumlah rongga yang terletak dalam otak dan sumsum tulang belakang, membentuk bantal cair yang memberikan daya apung untuk struktur SSP sehingga tidak bersandar langsung pada permukaan tengkorak atau dura mater. Daya apung CSS mengurangi berat otak hampir 30 kali lipat. Berat lebih ringan berarti sedikit tekanan pada pembuluh darah dan saraf yang melekat pada SSP. CSS juga melindungi otak dan sumsum tulang belakang dari pukulan dan trauma lainnya. Selain itu, melindungi otak terhadap guncangan gerakan kepala yang cepat. CSS juga memberikan beberapa nutrisi ke jaringan SSP. CSS disekresi secara terus menerus oleh pleksus koroid, daerah khusus pada dinding ventrikel

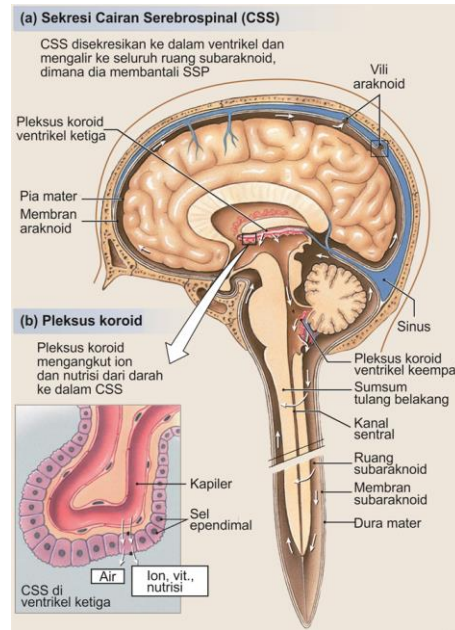
Setelah diproduksi, CSS bergerak bebas melalui ventrikel otak, kanal sentral dari sumsum tulang belakang, dan ruang subarachnoid sekitar SSP. Sel-sel pleksus koroid secara selektif memompa natrium dan zat terlarut lainnya (transpor aktif) dari plasma ke dalam ventrikel, menciptakan gradien osmotik yang menarik air bersama dengan zat terlarut (gambar 9 b). Molekul besar diangkut secara pinositosis.

Sel endotel pembuluh darah di pleksus koroid, bergabung dengan tight junction (lihat modul 1 KB 2), sawar darah otak, atau lebih tepatnya sawar darah-cairan serebrospinal. Akibatnya, zat tidak dapat lolos antara sel tetapi harus melewati sel.

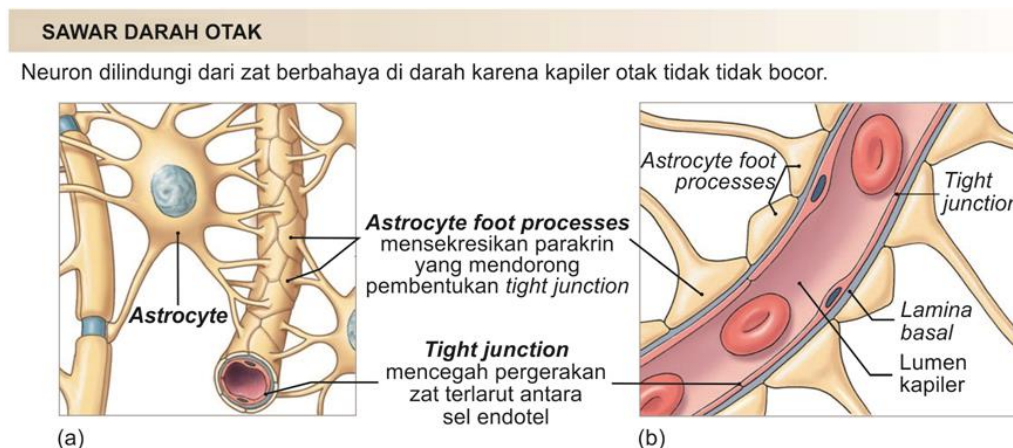
Pada orang dewasa, volume total CSS sekitar 150 ml (sekitar setengah cangkir) diganti setiap 8 jam atau lebih. Sekitar 500 ml CSS terbentuk setiap hari. Pleksus koroid juga membantu membersihkan CSS dengan membuang produk limbah dan zat terlarut yang tidak perlu. Setelah diproduksi, CSS bergerak bebas melalui ventrikel.

Biasanya, CSS diproduksi dan dialirkan dengan laju yang konstan. Namun, jika sesuatu (seperti tumor) menyumbat sirkulasi atau alirannya, CSS terakumulasi dan memberikan tekanan pada otak. Kondisi ini disebut hidrosefalus ("air di otak").

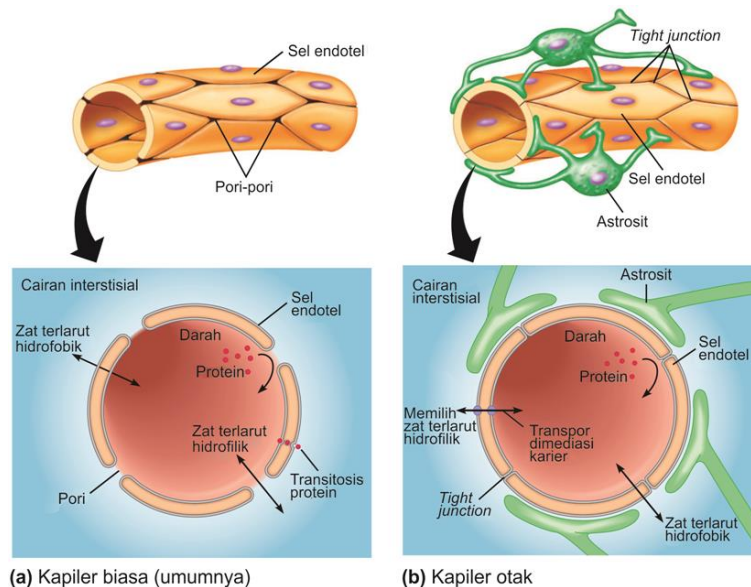
Hidrosefalus memperbesar kepala bayi yang baru lahir karena tulang tengkorak belum menyatu. Namun, pada orang dewasa, tengkorak yang kaku dan keras, dan hidrosefalus cenderung merusak otak karena cairan terakumulasi menekan pembuluh darah dan meremukkan jaringan saraf yang lunak. Hidrosefalus diterapi dengan memasukkan pirau (shunt) ke dalam ventrikel untuk mengalirkan kelebihan cairan ke dalam rongga perut.

Secara klinis, sampel cairan serebrospinal dianggap menjadi indikator lingkungan kimia di otak. Prosedur pengambilan sampel ini, dikenal sebagai spinal tap atau pungsi lumbal, umumnya dilakukan dengan menarik cairan dari ruang subaraknoid antara vertebra di ujung bawah dari sumsum tulang belakang. Adanya protein atau sel darah dalam cairan serebrospinal menunjukkan infeksi.

Gambar 9. Lokasi, pembentukan, dan sirkulasi dari CSS

Sawar Darah Otak

Lapisan akhir perlindungan untuk otak adalah penghalang fungsional antara cairan interstisial dan darah. Penghalang ini diperlukan untuk mengisolasi pusat kontrol utama tubuh dari zat berbahaya dalam darah dan dari patogen yang terbawa darah seperti bakteri. Untuk mencapai perlindungan ini, sebagian besar dari 400 mil kapiler otak membuat sawar darah otak fungsional. Meskipun bukan penghalang secara harfiah, permeabilitas sangat selektif dari kapiler otak melindungi otak dari toksin dan dari fluktuasi hormon, ion, dan zat neuroaktif seperti neurotransmiter dalam darah.

Gambar 10. Sawar darah otak

Dalam SSP, sebagian besar molekul hidrofobik dapat berdifusi melintasi sel-sel endotel kapiler, seperti di jaringan lainnya (gambar 11 a) . Namun, transitosis tidak terjadi di sel-sel

endotel kapiler dalam SSP, dan pergerakan molekul hidrofilik melintasi dinding kapiler dibatasi oleh sawar darah otak (Gambar 11 b), penghalang fisik yang ada antara darah dan CSS, (cairan interstisial dalam SSP). Keberadaan penghalang ini karena adanya tight junction antara sel endotel kapiler yang meniadakan pori kapiler, sehingga membatasi difusi molekul hidrofilik anatar sel. Astrosit sangat penting terhadap pembentukan sawar darah otak dimana dia merangsang sel endotel untuk mengembangkan dan mempertahankan *tight junction*.

Gambar 11. (a) Kapiler umumnya yang ditemukan di sebagian besar daerah di tubuh. (b) Kapiler otak. Walaupun astrosit sangat terkait dengan kapiler otak, dia bukan merupakan pengahalang fungsional.

Sawar darah otak melindungi SSP dari zat-zat berbahaya yang mungkin ada di darah dengan membatasi gerakan molekul melintasi sel endotel kapiler. Untuk masuk atau meninggalkan kapiler, molekul harus melintasi sel endotel mereka sendiri. Gas dan molekul hidrofobik lainnya berpenetrasi melalui sel ini secara relatif mudah, karena mereka dapat bergerak melintasi membran sel secara difusi sederhana melalui lipid bilayer. Sebagai akibatnya molekul ini dapat bergerak secara bebas antara darah dan jaringan otak. Salah satu contoh senyawa hidrofobik adalah etanol yang menekan fungsi SSP dengan beberapa mekanisme.

Beberapa antihistamin membuat Anda mengantuk tetapi yang lainnya tidak. Antihistamin generasi pertama adalah golongan amina yang larut ipid yang mudah melintasi sawar darah otak dan bekerja di pusat otak yang mengontrol kewaspadaan. Obat-obat baru jauh lebih sedikit larut dalam lemak dan karenanya tidak memiliki efek sedatif.

Sebaliknya, zat hidrofilik seperti ion, karbohidrat, dan asam amino tidak dapat melintasi membran plasma beberapa sel secara difusi sederhana. Melainkan harus bergantung pada transpor yang dimediasi untuk melintasi dinding kapiler di SSP. Karena transpor yang dimediasi menggunakan protein transpor yang bersifat selektif terhadap

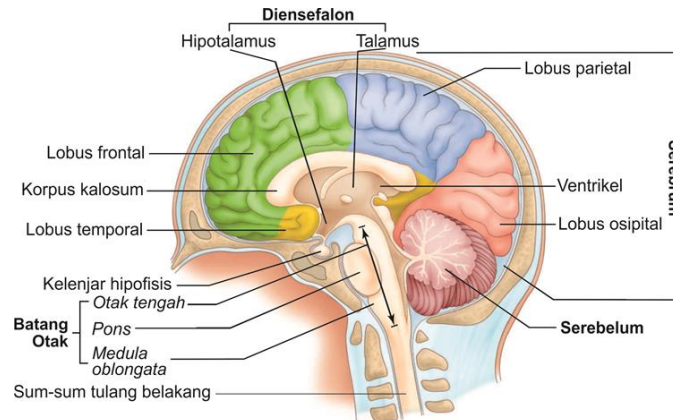
molekul tertentu, sawar darah otak adalah peremeabel secara selektif, memungkinkan hanya senyawa-senyawa tertentu untuk bergerak melintasinya.

Senyawa seperti glukosa dapat berpenetrasi ke sawar darah otak secara cepat dengan difusi terfasilitasi karena protein transpor untuk glukosa ada di membran sel. Glukosa diangkut melintasi sawar darah otak oleh karier GLUT-1. Senyawa-senyawa lainnya diangkut melintasi sawar darah otak meliputi insulin, asam amino, kolin (diperlukan untuk sintesis asetilkolin) dan aspirin.

Senyawa hidrofilik lainnya, seperti katekolamin, ion anorganik (meliputi ion H+), dan obat-obat tertentu (meliputi beberapa antibiotik) tidak dapat berpenetrasi ke sawar darah otak ke tingkat yang lebih besar karena protein transpor untuk senyawa ini tidak ada di sel endotel dari kapiler SSP. Sebagai hasil permeabilitas selektif dari sawar darah otak, komposisi CSS berbeda dari plasma. Oleh karena itu penyakit SSP tertentu dapat didiagnosis secara adekuat hanya dengan mengambil sampel CSS, biasanya dengan prosedur yang disebut spinal tap.

Salah satu ilustrasi menarik tentang bagaimana sawar darah otak bekerja terlihat pada penyakit Parkinson, gangguan neurologis dimana kadar neurotransmiter dopamin otak terlalu rendah karena neuron dopaminergik rusak atau mati. Dopamin diberikan dalam pil atau suntikan tidak efektif karena tidak dapat melintasi sawar darah otak. Meskipun prekursor dopamin L-dopa, diangkut melintasi sel sawar darah otak pada transporter asam amino. Setelah neuron memiliki akses ke L-dopa dalam cairan interstisial, mereka memetabolismenya menjadi dopamin, sehingga sulit untuk diobati.

Daerah yang tidak memiliki sawar darah otak adalah pusat muntah di medula oblongata. Neuron ini memonitor darah dari zat-zat asing yang mungkin toksik, seperti obat. Jika mereka mendeteksi sesuatu yang berbahaya, mereka mengawali refleks muntah. Muntah menegeluarkan isi sistem pencernaan dan membantu mengeliminasi toksin yan tercerna.

Tingkat Utama dari Fungsi Sistem Saraf Pusat (SSP)

Ada tiga tingkat utama dari fungsi SSP:

1. Sumsum tulang belakang (spinal cord). Memproses refleks, mengirimkan impuls saraf ke dan dari otak.
2. Batang otak (brainstem). Menerima input sensorik dan mengawali output motorik, mengontrol proses kelangsungan hidup (misalnya, respirasi, sirkulasi, pencernaan)
3. Otak besar (serebrum) dan korteks serebral. Memproses, mengintegrasikan, dan menganalisis informasi; terlibat dengan tingkat tertinggi kognisi, mengawali gerakan secara sadar, persepsi sensorik, dan bahasa

Otak

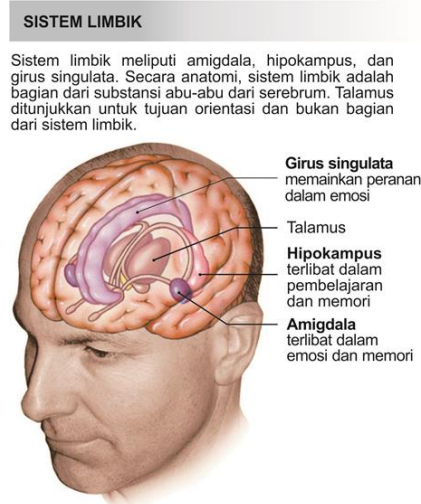
Otak adalah organ yang sangat kompleks. Mengandung sekitar 100 miliar neuron dan prosesus neuronal dan sinapsis tak terhitung jumlahnya. Otak terdiri dari empat komponen

utama: otak besar (serebrum), otak kecil [serebelum (cerebellum)], diensefalon, dan batang otak (brainstem) (gambar 12). Otak manusia mencapai 2% dari keseluruhan berat tubuh, mengkonsumsi 25% oksigen dan menerima 1,5% curah jantung. Tabel 3 menjelaskan bagian-bagian otak dan fungsinya.

Gambar 13. Bagian-bagian utama otak manusia

Tabel 3.
Bagian-bagian otak dan fungsinya

Bagian	Fungsi
Batang otak (*brainstem*) Medula oblongata	Menghubungkan sumsum tulang belakang ke otak besar; terdiri dari medula oblongata, pons, dan otak tengah, dengan formasi reticular tersebar di ketiga daerah tersebut; memiliki banyak fungsi penting, seperti yang tercantum di bawah setiap subdivisi; merupakan lokasi inti saraf kranial. Jalur untuk traktus saraf asending dan desending; pusat untuk beberapa refleks penting (misalnya, denyut jantung dan kekuatan kontraksi, diameter pembuluh darah, pernapasan, menelan, muntah, batuk, bersin, dan cegukan).
Pons	Mengandung traktur saraf asending dan desending; menyampaikan informasi dari otak besar (serebrum) dan otak kecil (serebelum); pusat refleks; membanyu medula mengontrol pernapasan.
Otak tengah (*midbrain*)	Mengandung traktur saraf asending dan desending; mengrimkan impuls saraf sensorik dari sumsum tulang belakang ke talamus dan impuls saraf motorik dari otak ke sumsum tulang belakang. Mengandung pusat refleks yang mrnggrrakkan bola mata, kepala, dan leher dalam menanggapi rangsangan visual dan pendengaran.

Bagian	Fungsi
Formasi retikuler	Tersebar di seluruh batang otak; mengontrol banyak aktivitas batang otak, termasuk kontrol motorik, persepsi nyeri, kontraksi ritme, dan siklus tidur-bangun; Mempertahankan kewaspadaan kortikal otak [sistem pengaktivasi retikuler (*reticular activating system*)]. Koordinasi makan dan bernapas
Otak kecil (serebelum)	Mengontrol gerakan otot dan tonus; mengatur keseimbangan dan postur yang tepat; mengatur tingkat gerakan yang disengaja; terlibat dalam keterampilan pembelajaran motorik. Berkontribusi terhadap perencanaan, pemrograman.
Diensefalon Talamus Hipotalamus Epitalamus	Menghubungkan batang otak ke otak besar; memiliki banyak fungsi pengiriman impuls dan homeostasis, seperti yang tercantum di bawah setiap subdivisi. Pusat pengiriman impuls sensorik utama. Menerima dan menyampaikan impuls saraf sensorik (kecuali bau) ke otak dan impuls saraf motorik ke pusat otak yang lebih rendah. Mempengaruhi mood dan gerakan. Memberikan kesadaran penuh terhadap nyeri, sentuhan, tekanan, dan suhu. Pusat integrasi utama dari sistem saraf otonom. Mengatur suhu tubuh (termoregulator), asupan makanan, keseimbangan air dan mineral, denyut jantung dan tekanan darah rasa haus, lapar, pengeluaran urin, dan respon seksual. Mempengaruhi perilaku dan emosi. Terlibat dalam siklus tidur-bangun dan emosi kemarahan dan ketakutan. Mengatur fungsi dari kelenjar hipofisis. Mengandung inti yang merespon terhadap stimulasi penciuman dan mengandung kelenjar pineal yang memproduksi hormon melatonin.
Otak besar (serebrum) Inti basal Sistem limbik (gambar 14)	Mengontrol persepsi sadar, pikiran, dan aktivitas motorik sadar; bisa mengabaikan kebanyakan sistem lainnya. Mengontrol aktivitas otot dan postur; umumnya menghambat gerakan yang tidak disengaja saat istirahat. Respon otonom terhadap bau, motivasi, emosi, mood, memori, dan fungsi lainnya.

Gambar 13. Area sistem limbic

Kedua belahan otak besar (serebrum) terdiri dari empat lobus: (gambar 12)
1. Lobus frontal
2. Lobus parietal
3. Lobus oksipital
4. Lobus temporal

Setiap lobus adalah khusus untuk kegiatan yang berbeda (lihat Gambar 12) dan Tabel 4).

Tabel 4.
Fungsi Lobus dari Koreteks Serebral

Lobus	Fungsi
1. Lobus Frontal	▪ Gerakan sadar (volunter) otot rangka ▪ Kemampuan berbicara ▪ Kemampuan intelektual, kepribadian, penilaian, dan perilaku yang lebih tinggi
2. Lobus Parietal	Pemrosesan dan integrasi informasi somatosensori Memahami bahasa lisan dan tertulis Merumuskan pola berbicara logis (atau menulis) untuk mengekspresikan pikiran dan emosi

Kelainan, Gejala, dan Prinsip Terapi

Penyakit Parkinson [Parkinson disease (PD)] sekelompok kondisi yang disebut gangguan sistem motorik, akibat degenerasi sel saraf secara bertahap pada otak bagian tengah yang berfungsi mengatur pergerakan tubuh, yang merupakan hasil dari hilangnya sel-sel otak yang memproduksi dopamin

a. Gejala

Gejala yang banyak diketahui orang dari penyakit Parkinson adalah terjadinya tremor atau gemetaran. Tapi gejala-gejala penyakit Parkinson pada tahap awal sulit dikenali, misalnya:

- Merasa lemah atau terasa lebih kaku pada sebagian tubuh.
- Gemetaran halus pada salah satu tangan saat beristirahat.

Setelah gejala awal di atas, maka akan muncul gejala-gejala yang akan dialami oleh penderita penyakit Parkinson:

- Tremor makin parah dan menyebar.
- Otot terasa kaku dan tidak fleksibel.
- Pergerakan menjadi lambat (bradikinesia)
- Berkurangnya keseimbangan dan juga koordinasi tubuh.

Penderita penyakit ini juga bisa mengalami gejala fisik dan psikologis lain seperti depresi, konstipasi, sulit tidur atau insomnia, kehilangan indera penciuman atau anosmia, bahkan muncul masalah daya ingat.

Penyebab Penyakit Parkinson

Penyakit Parkinson memengaruhi bagian kecil dari otak tengah yang bernama susbstantia nigra. Fungsi dari substantia nigra adalah mengirim pesan ke saraf-saraf di saraf tulang belakang yang mengendalikan otot-otot pada tubuh. Pesan dikirimkan dari sel otak, ke saraf dan otot dengan memanfaatkan senyawa kimia yang disebut neurotransmiter. Salah satu neurotransmiter utama yang dihasilkan oleh sel otak di substantia nigra adalah dopamine.

Pengaturan gerakan dari tubuh sangat dipengaruhi oleh dopamine. Saat jumlah dopamine menurun akan menyebabkan aktivitas otak akan terganggu. Inilah yang menyebabkan munculnya tanda-tanda dan gejala penyakit Parkinson. Penyebab menurunnya dopamine ini masih belum diketahui. Tapi terdapat beberapa faktor yang bisa memicu hal ini, seperti faktor keturunan dan faktor lingkungan.

b. Prinsip Terapi

Terapi simptomatik dengan terapi penggantian dopamin

Terapi farmakologi

Gejala-gejala utama, seperti tremor dan gangguan pada pergerakan tubuh, bisa dikurangi dengan obat-obatan. Tapi tidak semua obat cocok untuk semua orang, dan reaksi terhadap obat itu juga berbeda-beda. Berikut ini adalah obat-obatan yang biasa diberikan:

- **Levodopa/Karbidopa**. Obat ini merupakan standar emas (gold standard) unruk terapi simptomatik. Obat ini diserap oleh sel-sel saraf dalam otak dan diubah menjadi senyawa kimia dopamine. Dengan meningkatkan kadar dopamine, levodopa

membantu mengatasi gangguan pergerakan tubuh. Jenis obat levodopa yang lain yang dipakai untuk mengatasi gangguan suasana hati adalah duodopa.

- **Agonist Dopamin**. Obat ini berfungsi untuk menggantikan dopamine di dalam otak dengan efek yang sama seperti levodopa. Agonis dopamin umumnya digunakan pada tahap awal Parkinson karena efek samping yang ditimbulkan tidak sekuat levodopa.
- **Monoamine oxidase-b inhibitors (MAO-B).** Obat ini berfungsi menghambat senyawa kimia otak yang menghancurkan dopamin. Yang termasuk dalam MAO-B adalah selegiline dan rasagiline. MAO-B bisa dikonsumsi bersamaan dengan levodopa atau agonis dopamin. Obat ini membantu meredakan gejala penyakit Parkinson, meski efeknya tidak sekuat levodopa. Digunakan pada tahap awal Parkinson
- **Catechol-O-methyltransferase inhibitor (COMT).** Obat ini khusus diberikan kepada orang dengan penyakit Parkinson di tahap lanjutan. Obat ini menghambat enzim yang menghancurkan levodopa.
- **Agen antikolinergik (triheksifenidil, benztropin),** obat pilihan kedua untuk tremor.

RINGKASAN

- Sistem saraf pusat (SSP), terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang,
- Otak terbungkus oleh tulang tengkorak, dan sumsum tulang belakang dikelilingi oleh vertebra.
- Kedua otak dan sumsum tulang belakang ditutupi oleh meninges: pia mater, arachnoid mater, dan dura mater.
- Cairan serebrospinal dalam ruang subarachnoid memberikan daya apung dan berfungsi sebagai cairan shock absorber yang mengelilingi otak dan sumsum tulang belakang.
- Otak terdiri dari otak besar (sereberum), diensefalon, batang otak (brainstem), dan otak kecil (serebelum).
- Serebrum terdiri dari dua hemisfer serebral (kanan dan kiri) yang dihubungkan oleh korpus kalosum. Setiap hemisfer serebrum terbagi menjadi lima lobus: frontal, parietal, temporal, dan osipital.
- Daerah sensorik pada di lobus parietal, temporal, dan osipital. Daerah motorik pada lobus frontal. Daerah asosiasi terjadi pada semua lobus dari serebrum.
- Serebrum dan diensefalon secara bersama membentuk otak depan (forebrain).
- Diensefalon terdiri dari talamus, hipotalamus, dan epitalamus.
- Hipotalamus terletak di bawah talamus dan membentuk dasar dari ventrikel ketiga. Merupakan pusat integrasi utama untuk SSO. Juga mengatur beberapa proses homeostatik, sperti suhu tubuh, keseimbangan air dan mineral, nafsu makan, proses pencernaan dan sekresi hormon dari kelenjar hipofisis.
- Epitalamus memiliki kelenjar pineal yang menghasilkan hormon melatonin. Melatonin menginduksi nagantuk di malam hari.

- Otak kecil (serebelum) berperan dalam postur tubuh, gerakan, dan beberapa jenis memori.
- Sistem limbik terkait dengan perilaku emosi, memori, pembelajarn dan motivasi.
- Batang otak (brainstem) terdiri dari otak tengah (midbrain), pons, dan medula oblongata). Akson asending dan desending antara pusat otak yang lebih tinggi dan sumsum tulang belakang melalui batang otak. Batang otak mengandung formasi retikuler.
- Otak tengah adalah kecil, bagian atas dari batang otak. Mengandung pusat refleks untuk gerakan terkait dengan rangsangan visual dan pendengaran.
- Pons adalah bagian tengah dari batang otak, bersama dengam medula oblongata mengontrol pernapasan.
- Medula oblongata adalah bagian bawah dari batang otak dan bersambung dengan sumsum tulamg belakang. Mengandung pusat integrasi refleksif yang mengontrol pernapasan, denyut jantung dan kekuatan kontraksi, dan tekanan darah.
- Formasi retikuler terdiri dari nukleus dan akson yang membentang dari bagian atas sumsum tulang belakang ke dalam diensefalon. Terlibat dengan keadaan terjaga (bangun).
- Otak kecil (serebelum) terletak di belakang ventrikel keempat. Terdiri dari dua belahan (hemisfer) dipisahkan oleh vermis dan mengkoordinasikan kontraksi otot rangka.
- Ventrikel otak, kanal sentral dari sumsum tulang belakang, dan ruang subarachnoid sekitar otak dan sumsum tulang belakang teriisi dengan cairan serebrospinal. Cairan serebrospinal disekresi oleh pleksus koroid di setiap ventrikel.
- Cairan serebrospinal diserap ke dalam darah dari sinus vena dural dalam dura mater.
- Sumsum tulang belakang memanjang dari medulla oblongata secara inferior melalui kanal vertebral ke vertebra lumbar kedua.
- Sumsum tulang belakang sebagai pusat refleks dan jalur konduksi untuk impuls saraf antara otak dan saraf spinal.
- Sumsum tulang belakang terbagi menjadi dua daerah: substnasi ateri abu-abu yang terletak di tengah, yang berisi badan sel saraf dan dendrit; dan substansi putih, yang mengelilingi sunstansi abu-abu dan mengandung akson bermielin yang terorganisir ke dalam trakatus asending atau desending. Tanduk (horn) anterior dari substansi abu-abu mengandung badan sel neuron motorik somatik; tanduk posterior mengandung badan sel interneuron yang menerima impuls saraf sensorik yang datang; tanduk lateral mengandung badan sel neuron motorik otonom.
- Gangguan pada Sistem Saraf
- Gangguan dapat berasal dari penyakit infeksi, kerusakan dan cedera fisik.
- Gangguan inflamsi neurologis, meliputi meningitis, neuritis, skiatika.
- Gangguan neurologis noninflamasi, meliputi penyakit Alzheimer, epilepsi, sakit kepala, neuralgia, paralisis, dan Parkinson

TES 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Sel yang ditemukan di pleksus koroid yang mengeluarkan cairan serebrospinal adalah...
   A. Astrosit
   B. Mikroglia
   C. Sel ependimal
   D. Oligodendrosit
   E. Sel Schwann

2) Neuroglia yang bersifat fagosit dalam sistem saraf pusat adalah...
   A. Oligodendrosit
   B. Mikroglia
   C. Sel ependimal
   D. Astrosit
   E. Sel Schwann

3) Substansi abu-abu utama berisi...
   A. Serat mielin
   B. Badan sel neuron
   C. Sel Schwann
   D. Oligodendrosit

4) Bagian yang mengandung talamus, hipotalamus, dan kelenjar pineal adalah…
   A. Mesensefalon
   B. Melensefalon
   C. Diensefalon
   D. Mielensefalon
   E. Telensefalon

5) Fungsi hipotalamus dibawah ini, *kecuali*…
   A. Mengontrol suhu tubuh
   B. Mengontrol rasa haus dan mengeluarkan urin
   C. Mengontrol asupan makanan
   D. Mempertahankan homeostasis
   E. Mengatur kontrol tubuh motorik secara sadar

6) Kita bisa melihat, mendengar, serta dapat memahami bahasa merupakan fungsi dari…
   A. Lobus oksipital
   B. Lobus temporal

C. Lobus parietal
D. Lobus frontal
E. Korteks serebral

7) Gangguan mood, seperti depresi, biasanya akibat dari gangguan…
A. Otak
B. Sumsum belakang
C. Hipotalamus
D. Talamus
E. Sistem limbik

8) Gejala awal dari penyakit parkinson adalah…
A. Sebagian tubuh akan merasa lemah dan pada saat istirahat salah satu tangan akan bergetar halus
B. Rasa mual dan muntah
C. Selalu merasa gelisah
D. Gaya berjalan limbung
E. Nyeri punggung/kaki

9) Yang mana pasangangan jenis sel glial yang tidak sesuai dengan fungsi terkait?
A. Astrosit; pembentukan swar darah-otak
B. Mikroglia; sebagai sistem imun di SSP
C. Oligodendrosit; pembentukan selubung mielin pada akson di SST
D. Sel ependimal; pengaturan produksi cairan serebrospinal
E. Astrosit; pengeluaran ion kalium dan neurotransmiter dari cairan ekstraseluler otak

10) Target neurotrnasmiter utama dari obat-obat anridepresi adaah...
A. Asetilkolin
B. Dopamin
C. Histamin
D. Serotonin
E. Glutamat

Topik 3
Sistem Saraf Tepi

Makan siang saat piknik itu indah bukan? Bayangkan Anda sekarang tertidur di rumput dan di bawah sinar matahari yang teduh sambil mencerna makanan. Anda membiarkan makan intisari. Tiba-tiba Anda merasakan sesuatu bergerak melintasi kaki bagian bawah Anda. Anda membuka mata, melihat empat ular panjang merayap di atas kaki Anda. Dengan isntin tanpa berpikir dulu, Anda melemparkan ular ke rumput dan berusaha untuk mencari aman dengan naik ke atas meja piknik di dekat Anda. Anda terengah-engah, dan jantung berdebar. Dalam waktu kurang dari satu detik, tubuh Anda telah merespon ke situasi panik.

Reaksi refleks ini terintegrasi dan terkoordinasi melalui sistem saraf pusat (SSP), kemudian dilakukan oleh eferen yang terbagi ke dalam sistem saraf tepi (perifer) (SST). Gimana menarik bukan? Ok, untuk lebih memahami secara detail, marilah menyimak isi makalah ini.

Sistem Saraf Tepi

Sistem saraf tepi (SST) dibagi menjadi beberapa unit yang lebih kecil. Kategori kedua ini terdiri dari semua saraf yang menghubungkan otak dan sumsum tulang belakang dengan reseptor sensorik, otot, dan kelenjar. Terdiri dari 12 pasang saraf tengkorak (krania)l yang berasal dari batang otak dan 31 pasang saraf tulang belakang (spinal) yang berasal dari susm-sum tulang belakang. SST membawa impuls saraf yang dibentuk oleh reseptor sensorik, seperti reseptor nyeri dan suara, ke SSP. Ia juga membawa impuls saraf dari SSP ke efektor, yaitu: otot, kelenjar, dan jaringan adiposa.

SST dapat dibagi lagi menjadi dua subkategori: sistem tepi aferen, yang terdiri dari neuron aferen atau sensorik yang menyampaikan informasi dari reseptor di bagian perifer atau tepi tubuh ke otak dan sumsum tulang belakang, dan sistem tepi eferen, yang terdiri dari neuron eferen atau motorik yang menyampaikan informasi dari otak dan sumsum tulang belakang ke otot dan kelenjar.

Sistem tepi eferen dapat dibagi lagi menjadi dua subkategori. Yang pertama adalah sistem saraf somatik, yang menkonduksikan impuls dari otak dan sumsum tulang belakang ke otot rangka, sehingga menyebabkan kita untuk merespon atau bereaksi terhadap perubahan lingkungan eksternal kita. Yang kedua adalah sistem saraf otonom (SSO), yang melakukan impuls dari otak dan sumsum tulang belakang ke jaringan otot polos (seperti otot polos dari usus yang mendorong makanan melalui saluran pencernaan), ke jaringan otot jantung dari jantung, dan ke kelenjar (seperti kelenjar endokrin). SSO dianggap saraf tak sadar (involunter). Organ yang dipengaruhi oleh sistem ini menerima serabut saraf dari dua divisi SSO yaitu: divisi simpatis, yang merangsang atau mempercepat aktivitas dan karenanya melibatkan pengeluaran energi dan menggunakan norepinefrin sebagai neurotransmitter, dan divisi parasimpatis, yang merangsang atau mempercepat kegiatan vegetatif tubuh

seperti pencernaan, urinasi, dan defekasi dan mengembalikan atau memperlambat aktivitas lainnya. Menggunakan asetilkolin sebagai neurotransmitter di ujung saraf.

Sistem Saraf Otonom

Sistem saraf otonom mempertahankan homeostasis tubuh dengan mengatur berbagai aktivitas, meliputi laju jantung, laju pernapasan, suhu tubuh, proses pencernaan, dan fungsi urinari. Bayangkanlah berbagai perubahan yang dialami oleh tubuhmu sepanjang hari, mulai dari bangun,

Seperti dijelaskan sebelumnya, SSO dibagi menjadi divisi simpatis, parasimpatis, dan sistem saraf enterik. Divisi simpatis dan parasimpatis berbeda secara struktural di (1) lokasi badan sel neuron praganglion mereka dalam SSP dan (2) lokasi ganglia otonom mereka. Sistem saraf enterik (SSE) adalah jaringan yang kompleks dari badan sel neuron dan akson dalam dinding saluran pencernaan. SSE dianggap sebagai bagian dari SSO karena neuron simpatis dan parasimpatis merupakan bagian penting dari SSE. Anatomi divisi simpatis dan parasimpatis dari SSO akan dijelaskan pertama, diikuti kemudian dengan penjelasan SSE.

Divisi Simpatis

Badan sel neuron praganglion simpatis berada di tanduk lateral dari subtansi abu-abu sumsum tulang belakang antara segmen toraks pertama (T1) dan segmen lumbar kedua (L2). Karena lokasi badan sel praganglion ini, divisi simpatis kadang-kadang disebut divisi **torakolumbar**. Akson dari neuron praganglion keluar melalui akar ventral dari saraf tulang belakang (spinal) T1-L2, tentu saja melalui saraf tulang belakang untuk jarak pendek, meninggalkan saraf ini menuju ke ganglia simpatis.

Ada dua jenis ganglia simpatis: rantai ganglia simpatis dan ganglia kolateral. Rantai ganglia simpatis saling terhubung satu sama lain sehingga dinamakan demikian karena mereka membentuk rantai sepanjang sisi kiri dan kanan dari kolom tulang belakang (verterbral). Mereka juga disebut ganglia paravertebral (samping kolom vertebral) karena lokasi mereka. Meskipun divisi simpatis berasal di daerah toraks dan lumbar vertebral, rantai ganglia simpatis meluas ke daerah seviks dan sakral. Sebagai hasil dari penggabungan ganglia selama perkembangan fetus, biasanya ada 3 pasang ganglia serviks, 11 pasang ganglia toraks, 4 pasang ganglia lumbar, dan 4 pasang ganglia sakral. Ganglia kolateral (yang berarti "aksesori") adalah ganglia yang tidak berpasangan terletak di rongga abdominopelvis. Mereka juga disebut ganglia prevertebral karena posisinya anterior ke kolom vertebral.

Akson dari neuron praganglion memiliki diameter kecil dan termielinasi.

Divisi Parasimpatis

Badan sel neuron praganglion parasimpatis terletak baik di dalam inti saraf kranial di batang otak atau di dalam bagian lateral dari substansi abu-abu di daerah sakral sumsum tulang belakang dari S2 ke S4. Untuk itu, divisi parasimpatis kadang-kadang disebut divisi **kraniosakral**.

Akson dari neuron praganglion parasimpatis dari otak ada di saraf kranial III, VII, IX, dan X dan dari sumsum tulang belakang di saraf splanknik pelvis. Akson praganglion tentu melalui saraf ini ke ganglia terminal, dimana mereka bersinaps dengan neuron pascaganglion. Akson dari neuron pascaganglion memperpanjang jarak yang relatif pendek dari ganglia terminal ke efektor. Ganglia terminal baik dekat atau melekat dalam dinding organ dipersarafi oleh neuron parasimpatis. Kebanyakan dari ganglia parasimpatis kecil, tetapi beberapa, seperti di dinding saluran pencernaan adalah besar.

Tabel 5.
Merangkum perbedaan struktur antara divisi simpatis dan parasimpatis.

Perbandingan Divisi Simpatis dan Parasimpatis		
Distribusi	Sebagian besar tubuh: kulit, kelenjar keringat, otot pili arektor dari folikel rambut, jaringan adiposa, otot polos pembuluh darah	Terbatas, utamanya ke kepala, dan visera toraks, abdomen dan pelvis, beberapa pembuluh darah.
Lokasi Praganglion Badan Sel	Lateral horn dari gray mater sumsum tulang belakang (T1-L2)	Batang otak dan bagian lateral dari substansi abu-abu sumsum tulang belakang (S2-S4)
Aliran Keluar dari SSP	Saraf spinal Saraf simpatis Saraf splanknik	Saraf kranial Saraf splanknik pelvis
Ganglia	Ganglia rantai simpatis sepanjang susmsum tulang belakang untuk saraf spinal dan simpatis, ganglia kolateral untuk saraf splanknik	Ganglia terminal dekat atau pada organ efektor
Jumlah Neuron Pascaganglion untuk Setiap Neuron Praganglion	Banyak (banyak perbedaan)	Sedikit (sedikit perbedaan)
Panjang Realtif dari Neuron	Praganglion pendek Pasca ganlion panjang	Praganglion panjang Pasca ganlion pendek
Neurotransmiter	Neuron praganglion melepaskan asetilkolin (ACh), yang bersifat eksitatori dan merangsang neuron pascaganglion. Sebagian besar neuron pascaganglion melepaskan norepinefrin (NE). Neuron pascaganglion	Neuron praganglion melepaskan ACh, yang bersifat eksitatori dan merangsang neuron pascaganglion. Neuron pascaganglion melepaskan ACh.

Perbandingan Divisi Simpatis dan Parasimpatis		
	yang mempersarafi sebagian besar kelenjar keringat dan beberapa pembuluh darah di otot rangka melepaskan ACh.	
Efek fisiologi	Respon *“fight or flight”*	Aktivitas *“rest and digest”*

Pleksus

Pada bagian sebelumnya, jalur utama untuk neuron praganglion dan pascatganglion dari divisi simpatis dan parasimpatis telah dijelaskan. Dalam beberapa kasus, akson pascaganglion memperpanjang secara langsung melalui saraf ke organ target. Dalam kasus lain, akson pascaganglion menjadi bagian dari pleksus saraf otonom. Pleksus saraf otonom bersifat kompleks, jaringan saraf yang saling berhubungan yang dibentuk oleh neuron dari divisi simpatis dan parasimpatis. Akson dari neuron sensorik juga berkontribusi terhadap pleksus ini. Pleksus saraf otonom biasanya dinamai sesuai dengan organ yang mereka suplai atau pembuluh darah beserta dimana mereka ditemukan. Misalnya, pleksus jantung mensuplai jantung, dan pleksus aorta toraks ditemukan di sepanjang aorta toraks. Pleksus mengikuti rute pembuluh darah merupakan sarana utama dimana akson otonom didistribusikan ke seluruh tubuh. Pleksus saraf otonom terkait dengan keduanya, divisi simpatis dan parasimpatis.

Sistem Saraf Enterik

Sistem saraf enterik terdiri dari pleksus saraf dalam dinding saluran pencernaan. Pleksus memiliki kontribusi dari tiga sumber: (1) neuron sensorik yang menghubungkan saluran pencernaan ke SSP, (2) Neuron motorik SSO yang menghubungkan SSP ke saluran pencernaan, dan (3) neuron enterik, yang terbatas ke pleksus enterik. SSP mampu memantau saluran pencernaan dan mengontrol otot polos dan kelenjarnya melalui refleks otonom. Misalnya, neuron sensorik mendeteksi regangan saluran pencernaan, dan potensial aksi ditransmisikan ke SSP. Sebagai respon, SSP mengirimkan potensial aksi ke kelenjar di saluran pencernaan, sehingga terjadi sekresi.

Ada tiga jenis utama dari neuron enterik:

1. Neuron sensorik enterik mendeteksi perubahan komposisi kimia dari isi saluran pencernaan atau mendeteksi peregangan dinding saluran pencernaan.
2. Neuron enterik motorik merangsang atau menghambat kontraksi otot polos dan sekresi kelenjar.
3. Interneuron enterik menghubungkan neuron sensorik enterik dan motorik satu sama lain.

Fitur yang unik dari neuron enterik adalah bahwa mereka mampu memantau dan mengontrol saluran pencernaan secara independen dari SSP melalui refleks lokal. Misalnya,

peregangan saluran pencernaan terdeteksi oleh neuron sensorik enterik, yang merangsang interneuron enterik. Interneuron enterik merangsang saraf motorik enterik, yang merangsang kelenjar untuk mensekresi. Meskipun sistem saraf enterik mampu mengendalikan aktivitas saluran pencernaan sepenuhnya secara independen dari SSP, kedua sistem pada umumnya bekerja bersama.

Aktivitas simpatis versus parasimpatis

Divisi simpatis dan parasimpatis dari SSO mempertahankan homeostasis dengan menyesuaikan fungsi tubuh agar sesuai dengan tingkat aktivitas fisik. SSO mempersarafi sebagian besar organ melalui serat simpatis dan parasimpatis. Contoh organ yang dipersarafi oleh keduanya adalah saluran pencernaan, hati, kandung kemih, dan saluran reproduksi. Namun, persarafan ganda organ oleh kedua divisi dari SSO tidak bersifat universal. Misalnya, kelenjar keringat dan pembuluh darah dipersarafi oleh neuron simpatis hampir seluruhnya. Selain itu, dimana persarafan ganda ini ada, salah satu divisi mungkin lebih dominan daripada divisi lain. Misalnya, persarafan parasimpatis dari saluran pencernaan lebih dominan dan memberikan pengaruh yang lebih besar daripada persarafan simpatis.

Dalam kasus dimana kedua neuron simpatis dan parasimpatis mempersarafi organ tunggal, divisi simpatis memiliki pengaruh besar pada kondisi aktivitas fisik dan stres, sedangkan divisi parasimpatis memiliki pengaruh yang lebih besar dalam kondisi istirahat. Meskipun, divisi simpatis tidak aktif selama kondisi istirahat; namun memainkan peran utama selama istirahat dengan menjaga tekanan darah dan suhu tubuh.

Secara umum, selama latihan fisik divisi simpatis mengalirkan darah dan nutrisi ke struktur yang aktif dan menurunkan aktivitas organ yang tidak penting. Hal ini kadang-kadang disebut sebagai respon fight-or-flight.

Respon khas yang dihasilkan oleh divisi simpatis selama latihan meliputi berikut ini:

1. Peningkatan laju jantung dan kekuatan kontraksi meningkatkan tekanan darah dan pergerakan darah.
2. Vasodilatasi pembuluh darah otot terjadi selama latihan. Ketika otot rangka atau otot jantung berkontraksi, oksigen dan nutrisi telah digunakan dan produk limbah dihasilkan. Penurunan oksigen dan nutrisi dan akumulasi produk limbah merangsang vasodilatasi. Vasodilatasi menguntungkan karena meningkatkan aliran darah, membawa oksigen dan nutrisi yang dibutuhkan dan melepaskan produk limbah. Namun vasodilatasi yang berlebihan, dapat menurunkan tekanan darah, sehingga mengurangi aliran darah. Sebaliknya, peningkatan stimulasi pembuluh darah otot rangka oleh saraf simpatis selama latihan menyebabkan vasokonstriksi, yang mencegah penurunan tekanan darah.
3. Vasokonstriksi terjadi pada pembuluh darah dari jaringan yang tidak terlibat dalam latihan. Misalnya, vasokonstriksi pada organ abdominopelvis mengurangi aliran darah melalui mereka, membuat lebih banyak darah yang tersedia bagi jaringan untuk berlatih.

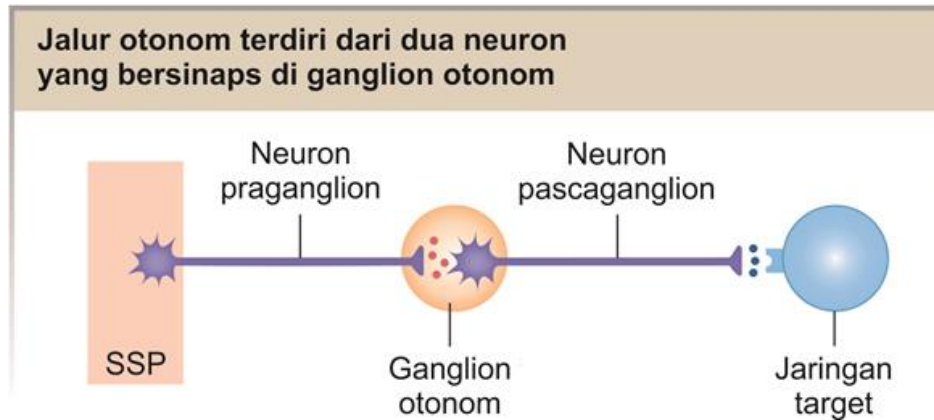
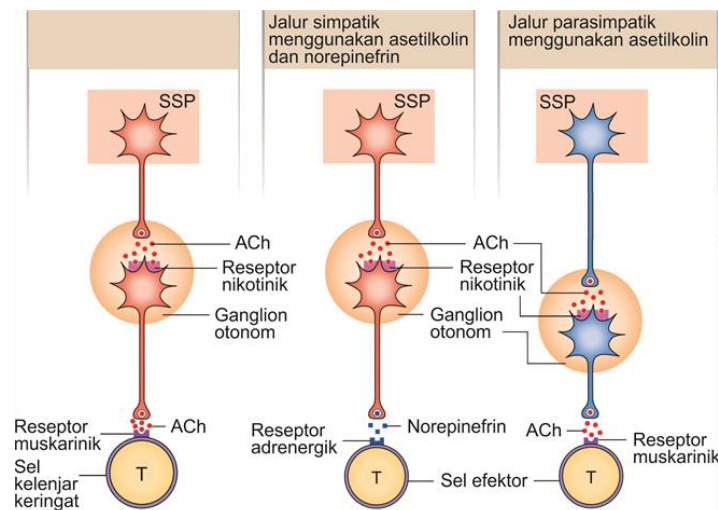
4. Pelebaran saluran udara meningkatkan aliran udara masuk dan keluar dari paru-paru.
5. Peningkatan pemecahan sumber energi yang tersimpan terjadi selama latihan. Sel otot rangka dan sel hati (hepatosit) dirangsang untuk memecah glikogen menjadi glukosa. Sel otot rangka menggunakan glukosa, dan sel hati melepaskannya ke dalam darah untuk digunakan oleh jaringan lain. Adiposit memecah trigliserida dan melepaskan asam lemak ke dalam darah, yang digunakan sebagai sumber energi oleh otot rangka dan otot jantung.
6. Peningkatan suhu tubuh ketika melatih otot, akan mengahasilkan panas. Vasodilatasi pembuluh darah di kulit membawa darah hangat dekat ke permukaan, dimana panas hilang ke lingkungan. Aktivitas kelenjar keringat meningkat, menghasilkan peningkatan produksi keringat, dan penguapan keringat menghilangkan panas lainnya.
7. Selama latihan, aktivitas organ yang tidak penting menurun. Sebagai contoh, proses mencerna makanan melambat karena kelenjar pencernaan menurunkan sekresinya dan kontraksi otot polos yang mencampur dan memindahkan makanan melalui saluran pencernaan menurun.

Peningkatan aktivitas dari divisi parasimpatis umumnya sejalan dengan kondisi istirahat. Divisi parasimpatis mengatur pencernaan dengan merangsang sekresi kelenjar, meningkatkan pencampuran makanan dengan enzim pencernaan dan empedu, dan menggerakkan material melalui saluran pencernaan.

Divisi parasimpatis mengontrol defekasi dan urinari. Peningkatan rangsangan parasimpatis menurunkan laju jantung, sehingga menurunkan tekanan darah. Peningkatan aktivitas parasimpatis menciutkan jalan udara, pergerakan udara menurun melalui mereka.

Ringkasnya, baik divisi simpatis maupun parasimpatis aktif atau tidak aktif secara terus menerus, ada berbagai tingkat regulasi, tergantung pada tingkat aktivitas tubuh. Perbedaan-perbedaan dalam regulasi dari organ yang sama adalah hasil dari neurotransmiter yang khas dilepaskan oleh serat pascaganglion dan reseptor spesifik pada sel target.

Jalur otonom memiliki dua neuron eferen dalam rangkaian

Semua jalur otonom (simpatis dan parasimpatis) terdiri dari dua neuron dalam rangkaian (gambar 14). Neuron pertama, yang disebut neuron praganglion, berasal dalam sistem saraf pusat dan menjukur ke ganglion otonom di luar SSP. Disana neuron praganglion bersinapsis dengan neuron kedua dalam jalur (neuron pascaganglion). Neuron ini memiliki badansel dalam ganglion dan proyeksi aksonnya ke jaringan target. (ganglion adalah sekelompok badan sel saraf yang berada di luar SSP. Dalam SSP setara dengan inti.

Gambar 14. Neuron praganglion dan pascaganglion

Neurotransmiter

Neurotransmiter menggunakan neuron untuk berkomunikasi satu sama lain juga dengan sel lainnya di seluruh tubuh. Penelitian ilmiah telah mengidentifikasi lebih dari 100 neurotransmiter yang bekerja dalam sistem saraf manusia. Ketika dilepaskan, neurotransmiter menghasilkan efek eksitatori atau inbibitori pada sel pascasinap. Neurotransmiter eksitatori menyebabkan pembentukan impuls di sel pascasinap yang pada gilirannya akan meningkatkan fungsi sel. Neurotransmiter inhibitori menghambat pembentukan impuls di sel pascasinap, menghasilkan penghambatan fungsi sel. Apa yang membuat studi neurotransmiter menarik adalah kenyataan bahwa satu neurotransmitter dapat menghasilkan keduanya, efek eksitatori (perangsangan) dan inhibitori (penghambatan) tergantung pada sel pascasinaptik penerima sinyal. Badan sel dan dendrit dari neuron pascasinap bersinap dengan ratusan neuron prasinap. Beberapa neurotransmiter yang dilepaskan pada sinapsis ini memberi efek eksitatori (perangsangan), sementara beberapa menimbulkan efek inhibitori (penghambatan). Apakah atau tidak impuls saraf terbentuk dalam neuron pascasinaptik tergantung pada apakah efek eksitatori atau inhibitori mendominasi pada waktu itu.

Ujung saraf simpatis dan parasimpatis mensekresikan satu dari dua neurotransmiter, Jika neuron mensekresikan asetilkolin, dia adalah neuron kolinergik, jika neuron mensekresikan epinefrin, dia adalah neuron adrenergik. Neuron adrenergik dinamakan demikian karena pada suatu waktu mereka diyakini mensekresikan adrenalin atau epinefrin. Semua neuron praganglion dari divisi simpatis dan parasimpatis dan semua neuron pascaganglion dari divisi parasimpatis adalah kolinergik. Hampir semua neuron pascaganglion dari divisi simpatis adalah adrenergik, tetapi beberapa neuron pascaganglion yang mempersarafi kelenjar keringat termoregulator adalah kolinergik (gambar 15).

Dalam beberapa tahun terakhir, zat selain neurotransmiter biasa telah diekstraksi dari neuron SSO. Zat-zat ini meliputi oksida nitrat; asam lemak, seperti eikosanoid; peptida, seperti gastrin, somatostatin, kolesistokinin, peptida usus vasoaktif, enkephalin, dan substansi P; dan monoamin, seperti dopamin, serotonin, dan histamin. Peran spesifik yang

banyak dari senyawa ini dalam mengatur SSO tidak jelas, tetapi mereka berfungsi baik sebagai zat neurotransmitter atau neuromodulator.

Gambar 15. Neurotransmiter dan reseptor dari saraf simpatis dan parasimpatis

Receptor

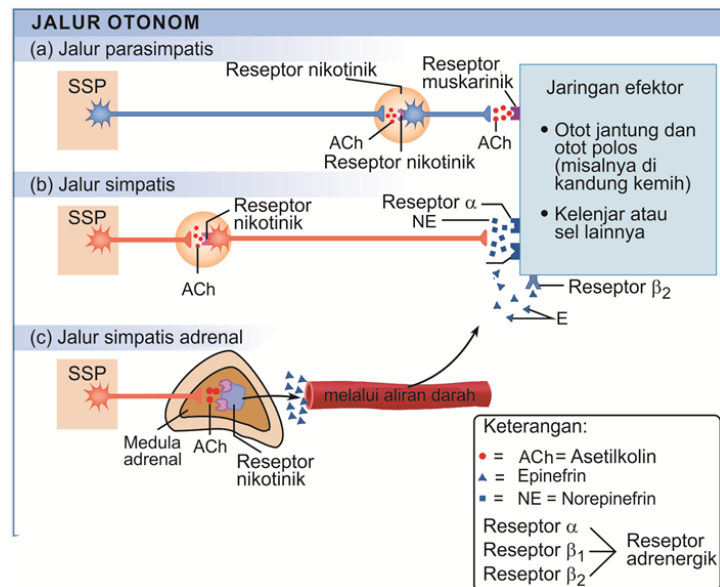
Reseptor untuk asetilkolin dan norepinefrin terletak di membran plasma dari sel tertentu. Penggabungan neurotransmiter dan fungsi reseptor sebagai sinyal ke sel, menyebabkan sel untuk merespon. Bergantung pada jenis sel, reseptor eksitatori atau inhibitori. Tabel 6 merangkum efek simpatis dan parasimpatis, juga jenis reseptor spesifik untuk berbagai efektor pada tubuh.

Senyawa lainnya seperti obat, dapat juga berinteraksi dengan reseptor untuk mengubah aktivitas sistem saraf otonom. Agonis terikat ke reseptor spesifik dan mengaktifkannya, sedangkan antagonis terikat ke reseptor spesisik dan mencegah aksinya.

Reseptor kolinergik

Reseptor kolinergik adalah reseptor dimana asetilkolin terikat dan dikelompokkan sebagai reseptor nikotinik, atau muskarinik. Pengelompokan reseptor ini berdasarkan penemuan laboratorium dimana nikotin (suatu alkaloid dalam tembakau) dapat terikat ke beberapa reseptor kolinernik, sedangkan muskarin [suatu alkoloid yang diekstraksi dari jamur (mushrooms)] beracun dapat terikat ke beberapa reseptor kolinergik lainnya. Walaupun nikotin dan muskarin tidak secara alami ada dalam tubuh manusia, senyawa-senyawa ini menunjukkan perbedaan antara dua kelompok reseptor kolinergik dan oleh karena digunakan untuk membedakan keduanya.

Reseptor nikotinik terletak di membran dari semua neuron pascaganglion di ganglia otonom dan membran dari sel otot rangka. Reseptor muskarinik terletak di membran sel efektor yang merespon terhadap pelepasan asetilkolin dari neuron pascaganglion (gambar 16 a).

Asetilkolin mengikat reseptor nikotinik memiliki efek eksitatori karena dia menghasilkan pembukaan langsung kanal Na+ dan menghasilkan potensial aksi. Ketika asetilkolin terikat ke reseptor muskarinik, respon sel dimediasi melalui protein G. Respon ini, apakah eksitatori atau inhibitori, bergantung pada efektor dimana reseptor itu ditemukan (tabel 6). Contoh, asetikolin terikat ke reseptor nikotinik pada otot jantung, responnya mengurangi laju jantung dan asetikolin terikat ke reseptor nikotinik pada sel otot polos, responnya meningkatkan laju kontraksinya.

Gambar 16. Lokasi reseptor muskarinik dan adrenergik

Reseptor adrenergik

Reseptor adrenergik adalah reseptor dimana norepinefrin atau epinefrin terikat. Mereka terletak di membran plasma efektor yang dipersarafi oleh divisi simpatis (gambar 16 b dan c). Respon sel terhadap pengikatan norepinefrin atau epinefrin ke reseptor adrenergik dimediasi melalui protein G. Bergantung pada efektor, aktivasi protein G dapat menghasilkan respon eksitatori atau inibitori.

Reseptor adrenergik dikelompokkan lagi ke dalam dua kategori utama: reseptor alfa (α) dan reseptor beta (β). Epinefrin memiliki efek lebih besar daripada norepinefrin pada sebagian besar reseptor (α) dan (β) Subtipe utama dari reseptor (α) adalah reseptor adrenergik α1 dan α2. Subtipe utama dari reseptor (β) adalah reseptor adrenergik β1 dan β2.

Reseptor adrenergik dapat dirangsang dalam dua cara: oleh sistem saraf atau oleh epinefrin dan norepinefrin yang dilepaskan dari kelnjar adrenal. Neuron pascaganglion simpatis melepaskan norepinefrin, yang menstimulasi reseptor adrenergik dalam sinaps (gambar 16 b dan c). Contoh, pembuluh darah secara terus menerus dirangsang untuk berkontraksi melalui pelepasan norepinefrin. Peningkatan rangsangan menyebabkan konstriksi dan mengurangi aliran darah, sedangkan penurunan rangsangan menghasilkan

dilatasi dan meningkatkan aliran darah. Kontrol dari diameter pembuluh darah memainkan peran penting dalam mengatur aliran dan tekanan darah.

Epinefrin dan norepinefrin dilepaskan dari kelenjar adrenal dan dibawa ke efektor oleh darah yang kemudian terikat ke reseptor adrenergik yang terletak di membran plasma sel yang tidak terlibat dalam sinapsis. Contoh, selama latihan epinefrin dan norepinefrin terikat ke reseptor [illegible] dan menyebabkan pembuluh darah di otot rangka berdilatasi.

Tabel 6.
merangkum efek simpatis dan parasimpatis

Efek Divisi Simpatis dan Parasimpatis pada Berbagai Efektor		
Efektor	**Efek Simpatis dan Jenis Reseptor**	**Efek Parasimpatis dan Jenis Reseptor**
Jaringan adiposa	Pemecahan lipid dan pelepasan asam lemak (α_2,β_1)	
Otot pili arektor	Kontraksi α_1)	Tidak ada
Darah (platelet)	Peningkatan koagulasi (α_2)	Tidak ada
Pembuluh darah		
Arteriol (membawa darah ke jaringan		
Organ pencernaan	Kontraksi (α_1)	Tidak ada
Jantung	Kontraksi (α_1), dilatasi (β_2)†	Tidak ada
Ginjal	Kontraksi (α_1, α_2), dilatasi ($\beta_1\beta_2$)	Tidak ada
Paru-paru	Kontraksi (α_1), dilatasi (β_2)	Tidak ada
Otot rangka	Kontraksi (α_1), dilatasi (β_2)	Tidak ada
Kulit	Kontraksi (α_1, α_2)	Tidak ada
Vena (membawa darah dari jaringan	Kontraksi (α_1, α_2), dilatasi (β_2)	
Mata		
Otot siliari	Relaksasi untuk pandangan jauh (β_2)	Kontraksi untuk pandangan dekat (m)
Pupil	Dilatasi (α_1)‡	Konstriksi (m)‡
Kandung kemih	Relaksasi (β_2)	Kontrkasi (m)
Kelenjar		
Adrenal	Pelepasan epi dan NE (n)	Tidak ada
Gastrik	Penurunan sekresi gastrik (α_2)	Peningkatan sekresi gastrik (m)
Lakrimal	Penurunan sekresi air mata (α)	Peningkatan sekresi air mata (m)
Pankreas	Penurunan sekresi insulin c	Peningkatan sekresi insulin (m)

Efek Divisi Simpatis dan Parasimpatis pada Berbagai Efektor		
Efektor	**Efek Simpatis dan Jenis Reseptor**	**Efek Parasimpatis dan Jenis Reseptor**
Salivari	Kontriksi pembuluh darah dan sedikit produksi saliva (kental) (α_1)	Dilatasi pembuluh darah dan banyak produksi saliva (m)
Keringat		
Apokrin	Pekat, sekresi organik (m)	Tidak ada
Merokrin	Keringat encer dari sebagian besar kulit (m), keringat dari telapak tangan dan kaki (α_1)	Tidak ada
Jantung	Peningkatan laju dan daya kontraksi ($\beta_1\beta_2$)	Penurunan laju kontraksi (m)
Hati	Glukosa dilepasakan ke dalam darah (α_1, β_2)	Tidak ada
Paru-paru	Dilatasi jalan udara (β_2	Konstriksi jalan udara (m)
Metabolisme	Peningkatan sampai 100 % (α, β)	Tidak ada
Organ seks	Ejakulasi (α_1), ereksi§	Ereksi (m)
Otot rangka	Pemecahan glikogen menjadi glukosa (β_2)	Tidak ada
Lambung dan Usus		
Dinding	Penurunan tonus ($\alpha_{1,}$ $\alpha_2\beta_2$	Peningkatan motilitas (m)
Sfingter	Peningkatan tonus (α_1)	Penurunan tonus (m)
Kandung kemih		
Dinding (detrusor)	Tidak ada)	Kontraksi
Leher kandung kemih	Kontraksi (α_1)	Relaksasi
Sfingter internal	Kontraksi (α_1)	Relaksasi

Tabel 7.
Neurotransmiter, reseptornya, dan efek pengikatan

Neurotransmiter/ hormon	**Jenis Reseptor**	**Lokasi Utama**	**Efek Pengikatan**
	Kolinergik	Protein integral di membran plasma pascaganglion.	
Asetilkolin (ACh)	Nikotinik	Membran plasma dari neuron simpatis dan parasimpatis pascaganglion. Sel medula adrenal. Sarkolema dari serat otot	Eksitasi→ impuls di neuron pascaganglion Sekresi epi dan NE Eksitasi→ kontraksi

Neurotransmiter/ hormon	Jenis Reseptor	Lokasi Utama	Efek Pengikatan
		rangka (motor and plate)	
	Muskarinik	Semua organ target parasimpatis. Kelenjar keringat yang dipersarafi oleh neuron simpatis pascaganglion kolinergik. Otot rangka pembuluh darah yang dipersarafi oleh neuron simpatis pascaganglion kolinergik.	Eksitasi dalam sebagian besar kasus, penghambatan otot jantung. Peningkatan keringat. Penghambatan→ relaksasi→ vasodilatasi.
NE dan hormon epi dan NE	Adrenergik	Protein integral di membran plasma pascasinap.	
		Serat otot polos di pembuluh darah yang melayani kelenjar saliva, kulit, membran mukosa, dan visera abdomen, otot radial di iris mata, otot sfigter lambung dan kandung kemih. Sel kelenjar saliva. Kelenjar keringat pada telapak tangan dan kaki.	Eksitasi→ kontraksi yang menyebabkan vasokonstriksi, dilatasi pupil, dan penutupan sfingter. Sekresi K^+ dan air. Peningkatan keringat
		Serat otot polos pada beberapa pembuluh darah	Penghambatan→ relaksasi→ vasodilatasi
		Sel pulau pankreas yang mensekresikan hormon insulin (sel beta). Sel asinar pankreas. Platelet dalam darah	Penurunan sekresi insulin. Penghambatan sekresi enzim pencernaan. Meningkatkan pembekuan darah.
		Serat otot jantung.	Eksitasi→ peningkatan

Neurotransmiter/ hormon	Jenis Reseptor	Lokasi Utama	Efek Pengikatan
		Sel juxtaglorular ginjal. Kelenjar hipofisis. Sel adiposa	daya dan laju kontraksi. Sekresi renin. Sekresi hormon antidiuretik (ADH). Pemecahan trigliserida→ melepaskan asam lemak ke dalam darah.
		Otot polos bronkus, dalam pembuluh darah yang melayani jantung, otot rangka, jaringan adiposa, dan hati, dan dalam dinding organ viseral, seperti kandung kemih. Otot siliari di mata. Hepatosis di hati.	Penghambatan→ relaksasi, yang menyebabkan dilatasi bronkiole, vasodilatasi, dan relaksasi dinding organ. Penghambatan→ relaksasi. Glikogenolisis (pemecahan glikogen menjadi glukosa)
		Jaringan adiposa coklat.	Termogenesis (produksi panas).

Pengaturan Sistem Saraf Otonom

Kemampuan individu untuk mempertahankan homeostasis bergantung pada aktivitas regulatori dari SSO. Banyak regulatori SSO terjadi melalui refleks otonom, tetapi input dari serebrum, hipotalamus, dan area lain dari otak memungkinkan pikiran dan tindakan sadar, emosi, dan aktivitas SSP lainnya untuk mempengaruhi fungsi otonom.

Refleks otonom, seperti refleks lainnya, melibatkan reseptor sensorik, neuron sensorik, interneuron, neuron motorik, dan sel-sel efektor (angka 16,8; lihat Bab 12). Misalnya, baroreseptor (reseptor regang) di dinding arteri besar dekat jantung mendeteksi perubahan tekanan darah, dan neuron sensorik mengirimkan informasi dari baroreseptor melalui *glossopharyngeal* dan saraf vagus ke medulla oblongata. Interneuron di medulla oblongata mengintegrasikan informasi, dan potensial aksi dihasilkan di neuron otonom yang memperpanjang ke jantung. Jika baroreseptor mendeteksi perubahan tekanan darah, refleks otonom mengubah laju jantung, yang mengembalikan tekanan darah normal. Peningkatan

mendadak tekanan darah akan memulai refleks parasimpatis, yang menghambat sel otot jantung dan mengurangi laju jantung, sehingga mengembalikan tekanan darah ke nilai normal. Sebaliknya, penurunan mendadak tekanan darah akan memulai refleks simpatis, yang merangsang jantung untuk meningkatkan tingkat dan kekuatan kontraksi, sehingga meningkatkan tekanan darah.

Refleks otonom lainnya membantu mengatur tekanan darah. Sebagai contoh, banyak neuron simpatis mengirimkan potensial aksi rendah tetapi frekuensi potensial aksi secara relatif konstan yang merangsang pembuluh darah ke seluruh tubuh, mempertahankan mereka terkontriksi sebagian. Pembuluh berkontriksi selanjutnya, tekanan darah meningkat, jika mereka berdilatasi, tekanan darah menurun. Dengan demikian, mengubah frekuensi potensial aksi yang dikirim ke pembuluh darah sepanjang neuron simpatis yang dapat menaikkan atau menurunkan tekanan darah.

Batang otak dan sumsum tulang belakang mengandung pusat refleks otonom penting bertanggung jawab untuk mempertahankan homeostasis (tabel 16.4). Namun, hipotalamus mengontrol keseluruhan SSO tersebut. Hampir semua jenis respon otonom dapat dibangkitkan dengan merangsang bagian dari hipotalamus, yang pada gilirannya merangsang pusat SSO di batang otak atau sumsum tulang belakang. Meskipun ada tumpang tindih, rangsangan pada hipotalamus posterior menghasilkan respon simpatis, sedangkan rangsangan pada hipotalamus anterior menghasilkan respon parasimpatis. Selain itu, hipotalamus memantau dan mengontrol suhu tubuh.

Hipotalamus memiliki hubungan dengan otak besar dan bagian penting dari sistem limbik, yang memainkan peran penting dalam emosi. Hipotalamus mengintegrasikan pikiran dan emosi untuk menghasilkan respon SSO. Misalnya, pikiran menyenangkan dari jamuan makan yang lezat akan mengawali peningkatan sekresi kelenjar saliva dan kelenjar dalam lambung, serta peningkatan kontraksi otot polos dalam sistem pencernaan. Respon ini dikontrol oleh neuron parasimpatis. Emosi seperti marah akan meningkatkan tekanan darah oleh peningkatan laju jantung dan konstriksi pembuluh darah melalui stimulasi simpatis.

Sistem saraf enterik terlibat dengan keduanya, refleks otonom dan refleks lokal yang mengatur aktivitas saluran pencernaan. Refleks otonom membantu mengontrol saluran pencernaan karena neuron sensorik dari pleksus enterik mensuplai SSP dengan informasi tentang isi usus, dan SSO neuron ke pleksus enterik mempengaruhi respons dari otot polos dan kelenjar dalam dinding saluran pencernaan. Misalnya, neuron sensorik mendeteksi peregangan dinding saluran pencernaan mengirim potensial aksi ke SSP. Sebagai respon, SSP mengirimkan potensial aksi keluar ke SSO, menyebabkan otot polos di dinding saluran pencernaan berkontraksi.

Neuron dari sistem saraf enterik juga bekerja secara independen dari SSP untuk menghasilkan refleks lokal. Refleks lokal tidak melibatkan SSP, tapi menghasilkan respon sadar, stereotip terhadap suatu rangsangan. Misalnya, neuron sensorik tidak terhubung ke SSP mendeteksi peregangan dinding saluran pencernaan. Neuron sensorik ini mengirim potensial aksi melalui pleksus enterik untuk neuron motorik, yang menyebabkan otot polos berkontraksi atau berelaksasi.

Generalisasi Fungsional Tentang Sistem Saraf Otonom

Beberapa generalisasi dapat dibuat tentang pengaruh ANS pada organ efektor. Namun, ingatlah bahwa sebagian besar generalisasi berikut memiliki pengecualian.

Efek Stimulasi versus Penghambatan

Kedua divisi dari SSO menghasilkan efek stimulasi dan penghambatan. Sebagai contoh, divisi parasimpatis merangsang kontraksi kandung kemih, menyebabkan buang air kecil, tetapi menghambat jantung, menyebabkan penurunan laju jantung. Divisi simpatis merangsang kontraksi otot polos di dinding pembuluh darah, menyebabkan vasokonstriksi, tetapi menghambat kontraksi otot polos di paru-paru, menyebabkan pelebaran saluran udara paru-paru. Dengan demikian, hal ini tidak benar bahwa salah satu divisi dari SSO selalu stimulasi dan lainnya selalu penghambatan.

Efek berlawanan

Ketika struktur tunggal dipersarafi oleh kedua divisi otonom, kedua divisi biasanya menghasilkan efek berlawanan pada struktur. Sebagai konsekuensinya, SSO mampu baik peningkatan dan penurunan aktivitas struktur. Dalam saluran pencernaan, misalnya, rangsangan parasimpatis meningkatkan sekresi kelenjar, sedangkan rangsangan simpatis menurunkan sekresi. Namun, dalam beberapa kasus efek dari dua divisi tidak secara jelas berlawanan. Sebagai contoh, kedua divisi dari SSO meningkatkan sekresi saliva: Divisi parasimpatis memulai produksi volume besar saliva berair dan encer, dan divisi simpatis menyebabkan sekresi volume kecil saliva kental.

Efek kooperatif

Satu divisi otonom dapat mengkoordinasikan aktivitas dari struktur yang berbeda. Sebagai contoh, divisi parasimpatis merangsang pankreas untuk melepaskan enzim pencernaan ke dalam usus kecil dan merangsang kontraksi usus kecil untuk mencampur enzim pencernaan dengan makanan. Respon ini meningkatkan pencernaan dan penyerapan makanan.

Alternatif lain, kedua divisi dari SSO dapat bekerja secara bersama untuk mengkoordinasikan aktivitas struktur yang berbeda. Pada pria, divisi parasimpatis memulai ereksi penis, sedangkan divisi simpatis merangsang pelepasan sekresi dari kelenjar reproduksi pria dan membantu memulai ejakulasi dalam saluran reproduksi pria.

Efek Sistemik versus Lokal

Divisi simpatis memiliki efek yang lebih umum daripada divisi parasimpatis

karena aktivasi divisi simpatis sering menyebabkan sekresi keduanya epinefrin dan norepinefrin dari medula adrenal. Hormon ini beredar dalam darah dan merangsang efektor seluruh tubuh. Karena sirkulasi epinefrin dan norepinefrin dapat bertahan selama beberapa menit sebelum diuraikan, mereka juga dapat menghasilkan efek untuk waktu yang lebih lama dari stimulasi langsung efektor oleh akson pascaganglion simpatis.

Divisi simpatis berbeda jauh dari divisi parasimpatis. Setiap neuron praganglion simpatis bersinapsis dengan banyak neuron pascaganglion, sedangkan setiap neuron praganglion parasimpatis bersinapsis dengan sekitar dua neuron pascaganglion. Akibatnya, rangsangan pada neuron praganglion simpatis dapat menghasilkan rangsangan lebih besar pada efektor.

Stimulasi simpatis sering mengaktifkan berbagai jenis efektor pada saat yang sama sebagai akibat dari stimulasi SSP atau pelepasan epinefrin dan norepinefrin dari medula adrenal. Hal ini dimungkinkan, namun, untuk SSP secara selektif mengaktifkan efektor. Misalnya, vasokonstriksi pembuluh darah kutaneus kulit pada tangan yang dingin tidak selalu terkait dengan peningkatan laju jantung atau respon lainnya yang dikontrol oleh divisi simpatis. Tabel 8 merangkum beberapa obat yang mempengaruhi SSO.

Tabel 8.
Obat-obat terpilih yang Mempengaruhi SSO

Kelas Obat	Reseptor	Efek	Contoh	Aplikasi Klinik
Agen nikotinik (nilai terapeutik sedikit, tapi penting untuk kesehatan publik, karena tembakau mengandung nikotin)	Reseptor ACh nikotinik pada semua neuron pascaganglion dan dalam SSP	Biasanya merangsang efek simpatis; menaikkan tekanan darah	Nikotin	Produk berhenti merokok
Agen parasimpatomimetik (agen muskarinik)	Reseptor ACh muskarinik	Meningkatkan aktivitas parasimpatis dengan meniru efek dari ACh	Pilokarpin Betanekol	Galukoma (membuka pori drainase aqueous humor) Kesulitan berkemih (meningkatkan kontraksi kandung kemih)
Inhibitor asetilkolinesterase	Tidak ada, terikat ke enzim (AChE) yang mengraikan ACh	Efek langsung pada semua resptor ACh; memeperpanjang efek ACh	Neostigmin Sarin	Miastenia gravis (meningkatnya ACh) Digunakan sebagai agen senjata kimia (mirip dengan banyak

Kelas Obat	Reseptor	Efek	Contoh	Aplikasi Klinik
				digunakan sebagai insektisida)
Agen simptomimetik	Reseptor adrenergik	Meningkatkan aktivitas simpatis dengan mengikat ke reseptor adrenergik atau meningkatkan pelepasan NE	Albuterol (Ventolin) Fenilefrin	Asma (mendilatasi bronkioli dengan mengikat ke reseptor ⍰$_2$ Flu (dekongestan hidung, terikat ke reseptor ⍰$_1$)
Agen simpatolitik	Reseptor adrenergik	Menurunkan aktivitas simpatis dengan memblok reseptor adrenergik atau menghambat pelepasan NE	Propanolol	Hipertensi (anggota dari kelas obat yang disebut beta bloker, yang memblok reseptor ⍰, menurunkan tekanan darah

Kelainan, Gejala, dan Prinsip Terapi

Sindrom Guillain-Barré [Guillain-Barré syndrome (**GBS**)]

Sindrom Guillain-Barré [Guillain-Barre syndrome (GBS)] dapat dideskripsikan sebagai kumpulan sindrom klinis yang bermanifestasi sebagai inflamasi polyradiculoneuropathy akut.

Sindrom Guillain-Barré adalah suatu penyakit otoimun yang bersifat akut. Sebenarnya jarang ditemukan, dimana sel-sel sistem imun menyerang selubung mielin saraf tepi. Saraf tepi menghubungkan otak dan medula spinalis dengan bagian tubuh lain. Kerusakan pada saraf tepi akan menimbulkan gangguan hantaran sinyal sebagai akibatnya menyebabkan kelemahan otot dan refleks berkurang. Penyebab sebenarnya penyakit ini belum diketahui tetapi dapat dipicu oleh infeksi, operasi dan vaksinasi.

Pada keadaan yang parah terjadi kelumpuhan total. Penyakit ini mengancam nyawa bila otot pernafasan diserang. Pada keadaan seperti ini diperlukan respirator. Keadaan yang parah akan berlangsung beberapa pekan, kemudian menjadi stabil dan membaik dengan perawatan yang baik pula. Ada pula perbaikan yang memakan waktu sangat lama hingga beberapa tahun. Pengobatan biasanya dilakukan dengan obat-obatan dan penggantian plasma (plasma exchange).

Penyakit ini termasuk kelompok penyakit neuropati perifer. Ada beberapa jenis GBS, tetapi bila tidak diberi keterangan lain maka yang dimaksud adalah GBS dalam bentuk umum.

Keluhan umum yang terkait dengan keterlibatan saraf kranial pada GBS adalah sebagai berikut:

- Diplopias
- Dysarthria
- Disfagia
- Oftalmoplegia
- Gangguan pupil

1) Gejala

Sebagian besar pasien mengeluhkan parestesia, kebas, atau perubahan sensorik serupa.

Gejala pertama biasanya adalah panas atau demam yang dapat tinggi atau sedang dan pada hari ketiga diikuti oleh kelemahan dan kesemutan (gringgingen) di kedua tungkai. Kemudian gejala ini akan memanjat ke atas.

Perubahan otonom pada GBS dapat meliputi:

- Takikardia
- Bradikardia
- Kemerahan pada wajah (facial flushing)
- Hipertensi paroksimal
- Hipertensi ortostatik
- Anhidrosis dan/atau diaforesis
- Retensi urin

2) Prinsip Terapi

Memodulasi system imun dengan imunomodulatoar untuk mempercepat penyembuhan.

a) Terapi farmakologi
   - Intravena imunoglobulin (IVIG) dan plasma exchange
   - Obat-obat antinyeri: AINS atau parasetamol dengan tambahan narkotika jika diperlukan.
   - Antinyeri ajuvan: antidepresan trisiklik, dan antikonvulsan tertentu.
   - Gabapentin atau karbamazepin untuk terapi GBS selama fase akut di ICU

b) Terapin non-farmakologi
   - Gerakan pasif anggota badan, pijatan lembut
   - Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS), dan penyaluran panas dapat bermanfaat untuk terapi mialgia.

- Edukasi dan konseling psikologi dapat menurunkan beban yang terkait debgan nyeri dan kecatatan.

RINGKASAN

- SST terdiri dari 43 pasang saraf; 12 pasang saraf kranial dan 31 pasang saraf tulang belakang (spinal), serta neuron yang ditemukan di dinding saluran pencernaan. Sebagian besar saraf adalah saraf campuran, hanya beberapa dari saraf kranial yang mtorik atau sensorik. Saraf mengandung berkas-berkas akson yang didukung oleh jaringan ikat.
- SST dibagi menjadi bagian somatik dan otonom. Serat somatik mempersarafi sel otot rangka dan melepaskan neurotransmitter asetilkolin.
- Empat pasang dari pleksus tulang belakang (spinal) adalah servikal, brakial, lumbar, dan sakral.
- Refleks bersifat cepat, tak sadar, dan respon dapat diprediksi terhadap rangsangan internal dan eksternal.
- Refeleks otonom meliputi otot polos, otot jantung, jaringan adiposa, dan kelenjar. Refleks somatik meliputi otot rangka.
- Refleks kranial meliputi otak, sedangkan refleks spinal meliputi sumsum tulangbelakang.
- SSO melibatkan bagian-bagian dari sistem saraf pusat dan perifer yang terlibat dalam pemeliharaan homeostasis secara sadar (involunter).
- SSO mengontrol fungsi organ internal
- Sistem saraf otonom mempersarafi otot jantung dan otot polos, kelenjar, neuron saluran pencernaan, dan sel-sel jaringan lainnya. Setiap jalur otonom terdiri dari neuron praganglion dengan badan selnya dalam SSP dan neuron pascaganglion dengan badan sel dalam ganglion otonom di luar SSP.
- Dua neuron motorik dari SSO digunakan untuk mengaktifkan efektor. Akson dari neuron praganglion berasal dari SSP dan berakhir di ganglion otonom, di mana dia bersinapsis dengan neuron pascaganglion. Akson dari neuron pascaganglion memanjang dari ganglion ke efektor.
- Sistem saraf otonom dibagi menjadi komponen simpatis dan parasimpatis. Neuron enterik dalam dinding-dinding saluran pencernaan juga kadang-kadang dianggap sebagai subkategori terpisah dari sistem otonom. Saraf dari divisi simpatis berasal dari segmen toraks dan lumbar dari sumsum tulang belakang dan mempersiapkan tubuh untuk merespon keadaan darurat (respon “figth or flight”). Saraf dari divisi parasimpatis berasal dari otak dan segmen sakral medula spinalis dan berfungsi terutama dalam keadaan istirahat secara normal (aktivitas “rest and digest”).
- Neuron praganglion di kedua divisi simpatis dan parasimpatis melepaskan asetilkolin; neuron parasimpatis pascaganglion melepaskan terutama asetilkolin; dan neuron simpatis pascaganglion melepaskan terutama norepinefrin.

TES 3

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Manakah dari sinapsis ini tidak memiliki asetilkolin sebagai neurotransmiter utama?
   A. Sinap dari neuron parasimpatis pascaganglion di sel jantung
   B. Sinap dari neuron parasimpatis pascaganglion di sel otot polos
   C. Sinaps dari neuron simpatis praganglion di neuron pascaganglion
   D. Sinaps dari neuron eferen somatik di sel otot rangka
   E. Sinaps dari neuron simpatik praganglion di sel medula adrenal

2) Badan sel dari neuron pascaganglion simpatis terletak di...
   A. Ganglia rantai simpatik
   B. Ganglia kolateral
   C. Ganglia terminal
   D. Ganglia dorsal root
   E. a dan b benar

3) Saraf splanknik...
   A. Adalah bagian dari divisi simpatis
   B. Memiliki neuron praganglion yang bersinap di ganglia kolatera
   C. Berasal dari daerah servikal sumsum tulang belakang
   D. Berjalan dari sumsum tulang vbelakang ke ganglia rantai
   E. Semua jawaban di atas benar

4) Pernyataan berikut yang benar tentang kelenjar adrenal adalah...
   A. Divisi parasimpatik merangsang kelenjar adrenal untuk melepaskan asetilkolin
   B. Divisi parasimpatik merangsang kelenjar adrenal untuk melepaskan epinefrin
   C. Divisi simpatik merangsang kelenjar adrenal untuk melepaskan asetilkolin
   D. Divisi simpatik merangsang kelenjar adrenal untuk melepaskan epinefrin
   E. Divisi parasimpatik merangsang kelenjar adrenal untuk melepaskan asetilkolin dan epinefrin

5) Divisi parasimpatik...
   A. Disebut juga divisi kraniosakral
   B. Memiliki akson praganglion di saraf kranial
   C. Memiliki akson praganglion di saraf spanknik pelvis
   D. Memiliki ganglion dekat atau di dinding efektor
   E. Semua jawaban di atas benar

6) Divisi simpatik
   A. Selalu bersifat stimulatori
   B. Selalu bersifat inhibitori
   C. Umumnya dibawah kontrol kesadarn
   D. Secara umum memiliki aksi yang berlawanan dengan divisi parasimpatis
   E. a dan c benar

7) Peningkatan mendadak dalam tekanan darah...
   A. Memicu refleks simpatik yang menurunkan denyut jantung
   B. Memicu refleks lokal yang menurunkan denyut jantung
   C. Memicu refleks parasimpatik yang menurunkan denyut jantung
   D. a dan b benar
   E. a dan c benar

8) Yang mana dari struktur di bawah ini yang dipersarafi secara khusus oleh divisi simaptik?
   A. Saluran gastrointestinal
   B. Jantung
   C. Kandung kemih
   D. Saluran reproduksi
   E. Pembuluh darah

9) Reseptor nikotinik terletak di...
   A. Neuron pascaganglion dari divisi simaptis
   B. Neuron pascaganglion dari divisi parasimaptis
   C. Membran sel otot rangka
   D. a dan b benar
   E. Semua lokasi ini benar

10) Yang mana dari kejadian berikut diharapkan jika divisi simptis diaktifkan?
   A. Sekresi saliva meningkat
   B. Produksi air mata meningkat
   C. Jalan napas berdilatasi
   D. Pelepasan glukosa dari hati menurun
   E. Semua jawaban di atas benar

Kunci Jawaban Tes

Tes 1
1) B
2) A
3) D
4) B
5) C
6) B
7) A

Tes 2
1) D
2) B
3) B
4) C
5) E
6) B
7) E
8) A
9) C
10) D

Tes 3
1) C
2) E
3) B
4) B
5) E
6) D
7) D
8) E
9) C
10) D

Daftar Pustaka

Gerard Tortora, 2014, Principles of Anatomy and Physiology,.

Sanders Tina, Scanlon Valerie, 2006, Essentials of Anatomy and Physiology.

Saladin, 2003, Anatomy and Physiology The Unity of Form and Function.

Rizzo C Donald, 2015, Fundamentals of Anatomy and Physiology.

Marieb Elaine Nicpon, 2013, Human Anatomy and Physiology

Sherwood, 2014: Human, Physiology - From Cells to Systems

Seeley's, 2014, Anatomy & Physiology, Ed. Ke-10.

Gunstream Stanley, 2015, Anatomy and Physiology with Integrated Study.

Carson, The Anatomy and Physiology Learning System (4E).

Rodney Rhoades, David R Bell, 2013, Medical physiology principles for clinical medicine.

Sue Longenbaker, 2010,Understanding Human Anatomy and Physiology Ed. Ke-7.

BAB III
SISTEM KARDIVASKULER

Raimundus Chaliks, S.Si. M.Sc. Apt.

PENDAHULUAN

Setiap mahasiswa kesehatan harus mempunyai pengetahuan dasar tentang sistem kardiovaskuler. Jika kalian mengerti bagaimana tubuh kalian memompa darah untuk memneuhi kebutuhan sel, jaringan, organ, kalian akan lebih menghargai tubuh kalian lebih dari sebelumnya.

Sebagai tenaga kefarmasian, tidaklah mungkin Anada dapat memhami dengan jelas obat-obat kardiovaskuler, jika tidak didukung dengan anatomi fisiologi dari kardiovaskuler itu sendiri.

Pada saat di SAA/SMF kalian tentu saja pernah mendengar atau bahkan telah mempelajari tentang sistem kardiovaskular bukan? tetapi mungkin masih sangat singkat, baiklah untuk mengingatkan kembali, sistem kardiovaskular berasal dari kata “cardio” yang berarti jantung dan “vascular” yang berarti pembuluh darah. Jadi, sistem kardiovaskular adalah sistem jantung dan pembuluh darah. Untuk lebih jelasnya lagi marilah menyimaknya dalam modul ini.

Sistem kardiovaskuler yaitu suatu sistem yang secara umum berperan mengedarkan darah keseluruh tubuh, sekaligus membawa oksigen dan zat gizi ke semua jaringan tubuh serta mengangkut semua zat buangan. Sistem kardiovaskuler terdiri dari jantung dan pembuluh darah. Jantung adalah pompa otot beruang empat yang mendorong darah mengelilingi sirkulasi. Sistem vaskuler atau pembuluh darah terdiri dari arteri yang membawa darah dari jantung ke jaringan, kapiler berdinding tipis yang memungkinkan difusi gas dan zat metabolik, dan vena serta venula yang mengembalikan darah ke jantung.

Fungsi Sistem Kardiovaskuler

Secara umum sistem kardiovaskuler memiliki fungsi:

- Mengangkut nutrisi, oksigen dan hormon ke seluruh tubuh dan melepaskan limbah metabolik (karbon dioksida, limbah nitrogen).
- Perlindungan tubuh oleh sel darah putih, antibodi dan protein komplemen yang beredar dalam darah dan mempertahankan tubuh terhadap mikroba asing dan toksin. Mekanisme pembekuan juga turut serta melindungi tubuh dari kehilangan darah setelah cedera.
- Pengaturan suhu tubuh, pH cairan dan kadar air sel.
- Bagaimanapun sistem kardiovaskuler, memerlukan fungsi kooperatif sistem lain untuk mempertahankan komposisi darah dan sebagainya untuk melestarikan homeostasis intraseluler. Misalnya, pencernaan dan organ ekskretori yang berperan dalam menjaga

konstitusi homeostasis darah, saraf otonom, sistem endokrin, sistem koordinat kardiovaskuler, serta fungsi lainnya.

Materi pada bab 3 akan diuraikan dalam 2 topik, yaitu:

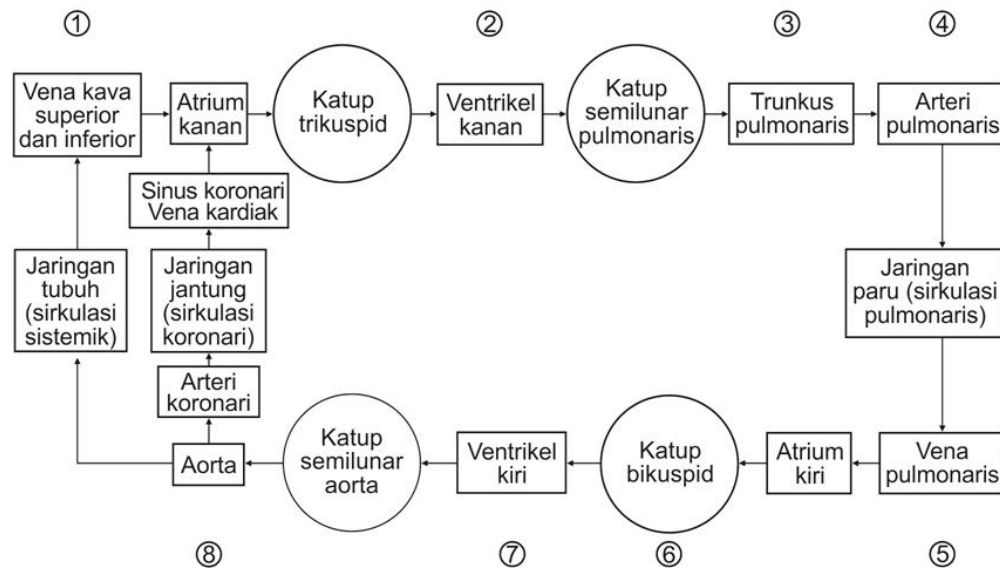
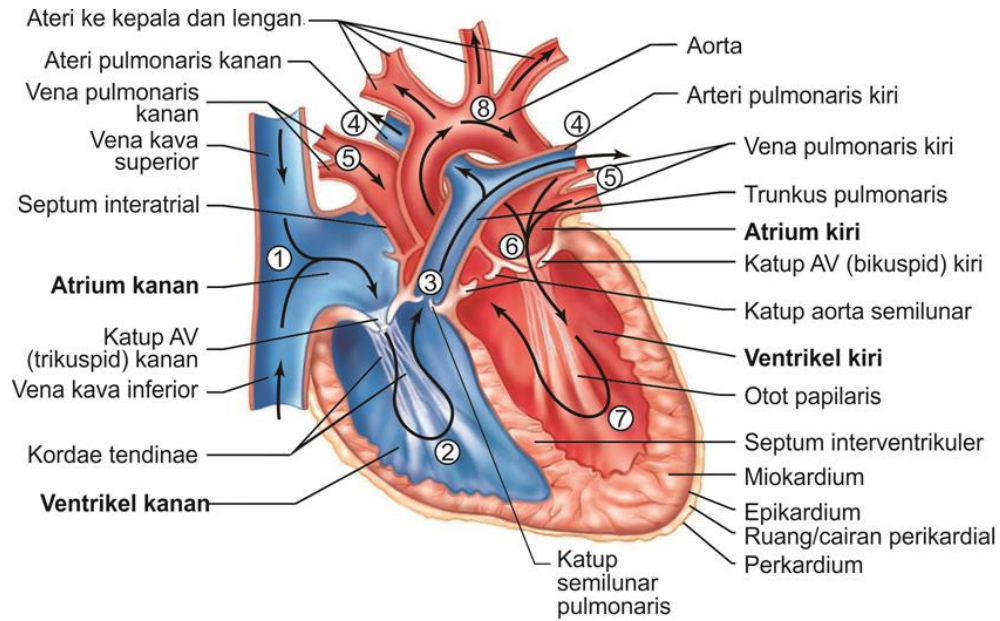
- Topik 1. Jantung
- Topik 2. Pembuluh Darah

Topik 1
Jantung

Jantung terletak dalam rongga mediastinum rongga dada, yaitu diantara paru-paru. Posisi jantung miring sehingga bagian ujungnya yang runcing (apex) menunjuk ke arah bawah ke pelvis kiri, sedangkan ujungnya yang lebar yaitu bagian dasarnya, menghadap ke atas bahu kanan. Jantung terdiri dari dua lapisan yaitu; (1) lapisan dalam atau perikardium viseral, dan (2) lapisan luar (perikardium parietal). Kedua lapisan ini dipisahkan oleh sedikit cairan pelumas, yang mengurangi gesekan akibat gerakan pemompaan jantung. Perikardium juga melindungi terhadap penyebaran infeksi atau neoplasma dari organ-organ sekitarnya ke jantung.

Dinding jantung terdiri atas tiga lapisan yaitu:
1. Epikardia adalah lapisan visera pada perikardia serum
2. Miokardia adalah bagian jantung yang berotot, terdiri atas otot jantung yang berkontraksi dan serta purkinje yang tidak berkontraksi yang mengantarkan impuls saraf.
3. Endokardia adalah endotelium tipis dan halus yang menjadi pembatas dalam jantung yang berhubungan dengan pembatas dalam pembuluh darah.

Dua pertiga jantung berada di sebelah kiri sternum. Apex jantung, berada di sela iga keempat dan kelima pada garis tengah klavikula. Pada dewasa rata-rata panjangnya kira-kira 12 cm dan lebar 9 cm dengan berat 300 sampai 400 g.

Secara fungsional jantung dibagi menjadi pompa sisi kanan dan sisi kiri, yang memompa darah vena ke sirkulasi paru, dan darah bersih ke sirkulasi sistemik. Pembagian fungsi ini mempermudah konseptualisasi urutan aliran darah secara anatomi: vena kava, atrium kanan, ventrikel kanan, arteri pulmonalis, vena pulmonalis, atrium kiri, aorta arteri, arteriola, kapiler, venula, vena, dan vena kava (gambar 1).

Gambar 1. Anatomi jantung

Gambar 2. Penampang Diagram dari jantung (Atas). Tanda panah menunjukkan arah aliran darah. Bawah: Daftar diagram, dalam urutan, struktur melalui mana darah mengalir di sirkulasi sistemik, paru, dan koronari. Katup jantung ditandai dengan lingkaran (bawah).

A. RUANG JANTUNG

Jantung terdiri atas 4 ruang, yaitu 2 ruang yang berdinding tipis disebut atrium (bilik) dan 2 ruang yang berdinding tebal disebut ventrikel (serambi) (gambar 1).

Tabel 1.
Ruang jantung dan fungsinya

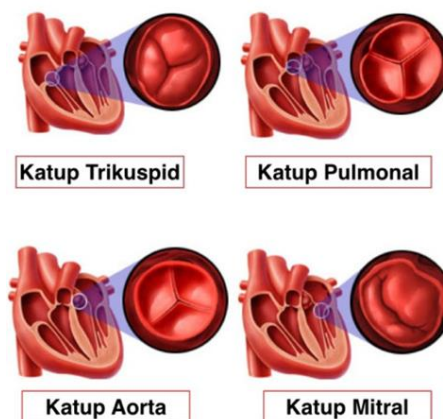
Ruang Jantung	Fungsi
Atrium kanan	Sebagai penampung (reservoir) darah yang rendah oksigen dari seluruh tubuh melalui vena kava superior dan inferior dan dari jantung melalui sinus koronari. Tekanan di atrium kanan 2 sampai 6 mmHg dengan saturasi oksigen 75%. Kemudian darah dipompakan ke ventrikel kanan dan selanjutnya ke paru.
Atrium kiri	Menerima darah yang kaya oksigen dari kedua paru melalui empat buah vena pulmonalis. Tekanan atrium kiri 4 sampai 12 mmHg dengan saturasi oksigen 95% sampai 98%.
Ventrikel kanan	Menerima darah dari atrium kanan dan dipompakan ke paru-paru melalui arteri pulmonalis. Tebal dinding kanan biasanya 0,5 cm dan tekanan sistoliknya 15-39 mmHg dan diastolik 0-5 mmHg dengan saturasi oksigen 75%
Ventrikel kiri	Menerima darah dari atrium kiri dan dipompakan keseluruh tubuh melalui aorta. Tebal dari dinding ventrikel kiri normalnya adalah 120 mmHg dan diastolik 0-10 mmHg dengan saturasi oksigen sebesar 95-98%.

B. KATUP JANTUNG

Katup jantung adalah jaringan khusus di dalam ruang jantung yang mengatur urutan aliran darah dari satu bagian ke bagian lain. Tabel 2; gambar 2 di bawah ini merupakan katup yang berada di dalam jantung beserta letak dan fungsinya.

Tabel 2.
Lokasi, struktur dan fungsi katup jantung

Katup	Lokasi	Struktur dan Fungsi
Katup trikuspid	Antara atrium kanan dan ventrikel kanan	Terdiri dari tiga daun katup yang mencegah aliran balik darah dari ventrikel kanan ke atrium kanan selama kontraksi ventrikel

Katup	Lokasi	Struktur dan Fungsi
Katup semilunar paru	Antara ventrikel kanan dan batang paru	Terdiri dari tiga flaps-bulan berbentuk setengah. Mencegah aliran balik darah dari trunkus paru ke ventrikel kanan selama ventrikel relaksasi
Katup bicuspid (mitral)	Antara atrium kiri dan ventrikel kiri	Terdiri dari dua katup yang mencegah aliran balik darah dari ventrikel kiri ke atrium kiri selama kontraksi ventrikel
Katup semilunar aorta	Antara ventrikel kiri dan aorta menaik	Terdiri dari tiga flaps-bulan berbentuk setengah. Mencegah aliran balik darah dari aorta ke ventrikel kiri selama kontraksi ventrikel.

Gambar 2. Katup-katup jantung

C. FISIOLOGI JANTUNG

Sistem pengaturan jantung

a. Serat Purkinje. Serat ini adalah serabut otot jantung khusus yang mampu mengantar impuls dengan kecepatan lima kali lipat kecepatan hantaran serabut otot jantung. Hantaran yang cepat di sepanjang sistem Purkinje memungkinkan atrium berkontraksi bersamaan, kemudian diikuti dengan kontraksi ventrikular yang serempak, sehingga terbentuk kerja pemompaan darah yang terkoordinasi.

b. Nodus sinoatrial (nodus SA)
   1) Lokasi. Nodus SA adalah suatu massa jaringan otot jantung khusus yang terletak di dinding posterior atrium kanan tepat di bawah permukaan vena kava superior.
   2) Nodus SA melepaskan impuls sebanyak 72 kali permenit, frekuensi irama yang lebih cepat dibandingkan dalam atrium (40 sampai 60 kali permenit), dan ventrikel (20 kali permenit). Nodus ini dipengaruhi saraf simpatis dan parasimpatis sistem saraf otonom, yang akan mempercepat atau memperlambat iramanya.
   3) Nodus SA mengatur frekuensi kontraksi irama, sehingga disebut pemacu jantung (pacemaker).

c. Nodus atrioventrikular (nodus AV)
   1) Lokasi. Impuls menjalar di sepanjang pita serat purkinje pada atrium, menuju nodus AV yang terletak di bawah dinding posterior atrium kanan.
   2) Nodus AV menunda impuls seperatusan detik, sampai ejeksi darah atrium selesai sebelum terjadi kontraksi ventrikular.

d. Berkas AV (berkas His)
   1) Lokasi. Berkas AV adalah sekelompok besar serat purkinje yang berasal dari nodus AV dan membawa impuls di sepanjang septum interventrikular menuju ventrikel. Berkas ini dibagi menjadi percabangan berkas kanan dan kiri.
   2) Percabangan berkas kanan memanjang di sisi dalam ventrikel kanan. Serabut bercabang menjadi serat-serat purkinje kecil yang menyatu dalam serat otot jantung untuk memperpanjang impuls.
   3) Percabangan berkas kiri memanjang di sisi dalam ventrikel kiri dan bercabang ke dalam serabut otot jantung kiri.

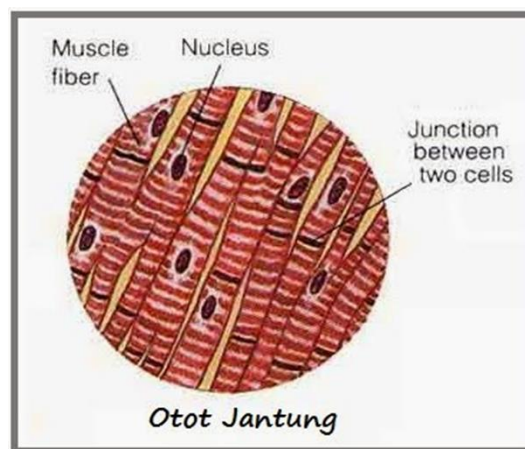
D. OTOT JANTUNG

Otot jantung adalah otot penyusun dinding jantung yang meliputi sel-sel cardiomycocyte atau sel otot myocardiocyteal yang berjumlah satu atau dua, tetapi adapun berjumlah tiga atau empat inti sel yang sangat jarang terjadi. Otot jantung disebut juga myocardium. Myo artinya otot dan cardium artinya jantung. Otot jantung bergerak di bawah kesadaran yang tak dipengaruhi oleh perintah otak atau saraf pusat. Otot jantung merupakan gabungan otot polos dan otot lurik karena memiliki kesamaan, sebagaimana otot jantung memiliki daerah gelap dan terang, memiliki banyak inti sel yang terletak di tengah seperti otot lurik sedangkan otot polos memiliki kesamaan sifat seperti bergerak secara tak sadar (involunter). Otot ini bekerja tanpa lelah, tanpa beristirahat yang membuat darah terus mengalir artinya manusia tetap hidup jika berhenti maka akan membuat kematian bagi manusia.

Adapun fungsi otot jantung yaitu:
1. Membantu memompa darah ke seluruh tubuh
2. Membersihkan tubuh dari hasil metabolisme (karbondioksida)
3. Sel-sel pada otot jantung membantu dalam kontraksi sel lainnya
4. Otot jantung menyediakan cara pemompaan ventrikel pada jantung
5. Otot jantung berfungsi meremas darah sehingga darah dapat keluar dari jantung saat berkontraksi dan mengambil darah pada relaksasi
6. Menunjang kerja dari organ jantung

Adapun ciri-ciri dari otot jatung yaitu:
1. Bentuk yang memanjang
2. Mempunyai inti sel yang berada di tengah
3. Cara kerja otot jantung ini berada di luar kesadaran atau tidak dipengaruhi oleh otak atau saraf pusat.
4. Serat jantung memiliki panjang 50 sampai 100 um, diameter berkisar diantara 14 um
5. Serat pada otot jantung berupa sarkolema dan terdiri atas myofibril yang terlihat berdampingan
6. Otot jantung terdiri atas 1 dan 2 inti sel atau bahkan dapat berjumlah 3 dan 4 tetapi itu sangat jarang bekerja terus menerus tanpa istirahat
7. Otot jantung dipengaruhi oleh saraf otonom yakni saraf simpatis dan saraf parasimpatis
8. Bentuk silindris bercabang dan menyatu
9. Memiliki serat yang bercabang-cabang
10. Mempunyai diskus interkalaris, interkalaris adalah pembatas antara sarkomer

Dalam beberapa hal otot jantung sama dengan otot rangka. Otot tersebut berserat lintang, mempunyai garis-garis hitam dan mempunyai myofibril yang terdiri dari filamen aktin dan miosin. Selama kontraksi kedua filamen ini saling tumpang tindih seperti pada otot rangka. (gambar 3).

Otot jantung mempunyai karakteristik kontraksi. Bila nodus SA rusak otot jantung dapat terus berkontraksi walaupun pada kecepatan yang rendah, sedangkan otot rangka hanya berkontraksi bila ada rangsangan. Bila dilihat dengan mikroskop elektron serat-serat paralel tampak saling berhubungan. Kadang-kadang ditemukan 2 nukleus dalam satu sel. Sel-sel otot jantung dipisahkan pada ujung-ujungnya oleh yang disebut "intercalated discs"

Diantara setiap "intercalated discs" terdapat percabangan yang khusus dari sel otot jantung. Secara fisiologi percabangan ini sangat berguna karena di tempat sangat rendah tersebut tahanan terhadap perjalanan aksi potensial.

Ion-ion bergerak dengan mudah ke percabangan yang kecil dari sitoplasma ke sel yang lain dengan demikian seluruh atrium atau ventrikel berperan sebagai satu sel yang besar. Oleh karena itu, otot jantung sering dipandang sebagai "functional syncytium" (satu unit) "syncytium" atrial dipisahkan dari "syncytium" ventrikel oleh jaringan ikat. Jadi impuls dari

atrium harus melalui nodus AV sebelum merangsang ventrikel untuk berkontraksi. Karena otot jantung bersifat sebagai “syncytium”, rangsangan dari satu serat otot akan menyebabkan kontraksi dari seluruh serat otot. Dalam hal ini berlaku prinsip “all or none”.

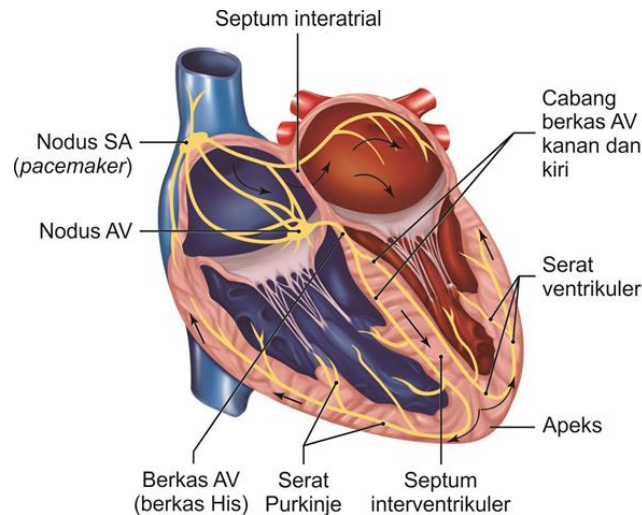
Pada otot rangka prinsip ini hanya berlaku pada setiap serat otot secara individu, sedangkan otot jantung jika rangsangan cukup kuat untuk merangsang kontraksi maka rangsangan pada satu serat menyebabkan kontraksi seluruh masa otot.

Pada saat potensial aksi menjalar ke seluruh otot jantung (melewati tubulus T diantara sel), terjadi pelepasan ion kalisum dari retikulum. Ion kalsium akan berdifusi ke dalam myofibril (aktin dan miosin) dan menyebabkan filamen-filamen tersebut bergeser saling bertumpang tindih dan terjadilah kontraksi. Kira-kira dalam 500 “millisecond” (ms) potensial aksi selesai, ion kalsium kembali lagi ke retikulum dan terjadi relaksasi otot.

Gambar 3. Otot jantung

E. MEKANISME KONDUKSI JANTUNG

Berbeda dengan serat otot rangka (sel), yang saling bebas, serat otot jantung (serat otot kontraktil) dihubungkan oleh cakram sisipan, sel-sel yang bersebelahan dihubungkan oleh desmosom secara struktural, menyegel rapat yang menyatukan membran plasma, dan yang secara elektrik dihubungkan oleh sambungan berumpang, saluran ion yang memungkinkan transmisi peristiwa depolarisasi. Akibatnya, seluruh miokardia berfungsi sebagai unit tunggal dengan kontraksi tunggal serambi yang diikuti kontraksi tunggal ventrikel.

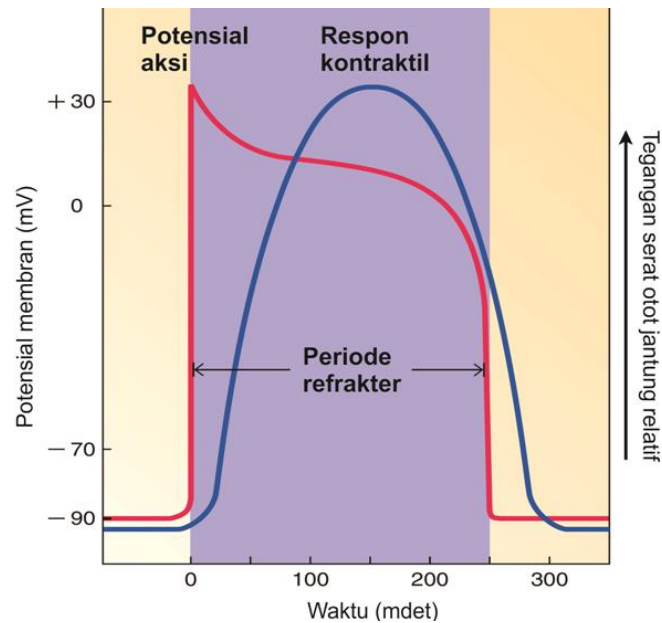
Potensial aksi (impuls elektrik) pada jantung berasal dari sel otot jantung khusus yang disebut sel otoritmik. Sel-sel ini dapat bergerak sendiri, dapat mengghasilkan potensi aksi tanpa perangsangan saraf. Sel otoritmik berfungsi sebagai perintis untuk memulai siklus jantung (siklus pemompaan jantung) dan menyediakan sistem konduksi untuk mengkoordinasi kontraksi sel-sel otot di seluruh jantung (gambar 4).

Gambar 4. Mekanisme konduksi jantung

F. MEKANISME KONTRAKSI JANTUNG

Periode refrakter yang lama menghambat tetani pada otot jantung. Seperti jaringan peka ransangan lainnya, otot jantung memiliki periode refrakter. Selama periode refrakter, tidak dapat terbentuk potensial aksi kedua sampai membran peka ransang pulih dari potensial aksi sebelumnya. Di otot rangka, periode refrakter sangat singkat dibandingkan dengan durasi kontraksi yang terjadi sehingga saraf dapat diransang kembali sebelum kontraksi pertama selesai untuk menghasilkan penjumlahan kontraksi. Stimulasi berulang cepat yang tidak memungkinkan serat otot melemas di antara ransangan menyebabkan terjadinya kontraksi maksimal menetap yang dikenal sebagai tetani.

Sebaliknya, otot jantung memiliki periode refrakter yang lama (gambar 5) yang berlangsung sekitar 250 milidetik kerana memanjang fase datar potensial aksi. Hal ini hampir selama periode kontraksi yang dipicu oleh potensial aksi yang bersangkutan; kontraksi satu serat otot jantung berlangsung serata 300 milidetik. Karena itu, otot jantung tidak dapat dirangsang kembali sampai kontraksi hampir selesai sehingga tidak terjadi penjumlahan kontraksi dan tetani otot jantung. Ini adalah suatu mekanisme protektif penting, karena pemompaan darah memerlukan periode kontraksi (pengosongan) dan relaksasi (pengisian) yang bergantian. Kontraksi tetanik yang berkepanja

ngan akan menyebabkan kematian. Rongga-rongga jantung tidak dapat terisi dan mengosogkan dirinya.

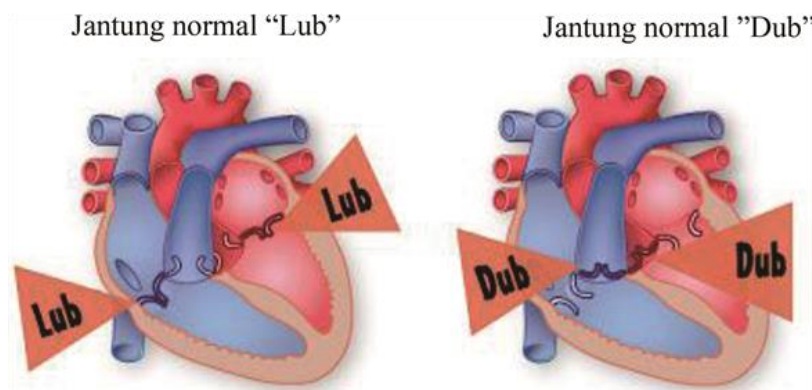
Faktor utama yang berperan dalam periode refrakter adalah inaktivasi, selama fase datar yang berkepanjangan, saluran Na+ yang diaktifkan sewaktu influks awal Na+ pada fase naik. Barulah setelah membran pulih dari proses inaktivasi ini (ketika membran telah mengalami repolarisasi ke tingkat istirahat) saluran Na+ dapat diaktifkan kembali untuk memulai potensial aksi lain.

Gambar 5. Hubungan dari potensial aksi dan periode refrakter terhadap durasi respon kontraktil di otot jantung

G. BUNYI JANTUNG

Bunyi jantung secara tradisional digambarkan sebagai lup-dup dan dapat di dengar melalui stetoskop. “lup” mengacu pada saat katup AV menutup dan “dup” mengacu pada saat katup semilunar menutup (gambar 6). Bunyi ketiga atau keempat adalah bunyi jantung yang abnormal yang disebabkan fibrasi yang terjadi pada dinding jantung saat darah mengalir dengan cepat ke dalam ventrikel, dan dapat di dengar jika bunyi jantung diperkuat dengan mikrofon.

Oleh karena itu, bunyi jantung pertama (S1) terdengar pada permulaan sistol ventrikel, pada saat ini tekanan ventrikel meningkat melebihi tekanan atrium dan menutup katup mitral dan trikuspid. Pada kasus tenosis mitral terdengar bunyi S1 yang abnormal dan lebih keras akibat kekakuan daun-daun katup. Bunyi jantung kedua (S2) terdengar pada permulaan relaksasi ventrikel karena tekanan ventrikel turun sampai di bawah tekanan arteri pulmonalis dan aorta, sehingga katup pulmonalis dan aorta tertutup.

Terdapat dua bunyi jantung lain yang kadang-kadang dapat terdengar selama diastolik ventrikel yaitu bunyi jantung ketiga dan keempat. Kedua bunyi ini disebut sebagai irama gallop, istilah ini dapat digunakan karena tambahan bunyi jantung yang lain tersebut merangsang timbulnya irama gallop seperti derap lari kuda.

Bunyi ketiga terjadi selama periode pengisian ventrikel cepat sehingga disebut sebagai gallop ventrikular apabila abnormal. Bunyi keempat timbul pada waktu sistolik atrium dan disebut sebagai gallop atrium. Bunyi keempat biasanya sangat pelan atau tidak terdengar sama sekali, bunyi ini timbul sesaat sebelum bunyi jantung pertama. Gallop atrium terdengar bila resistensi ventrikel terhadap pengisian atrium meningkat akibat berkurangnya peregangan dinding ventrikel atau peningkatan volume ventrikel.

Gambar 6. Dua bunyi jantung normal

H. ELEKTROKARDIOGRAM

Elektrokardiogram (EKG) adalah rekaman grafik aktivitas listrik yang menyertai kontraksi atrium dan ventrikel jantung.aliran listrik yang dihasilkan jantung selama siklus jantung dapat dikenali pada permukaan tubuh oleh elektroda elektrokardiogram. Rekaman aliran ini, yang disebut elektrokardiogram, menunjukkan jumlah seluruh potensial aksi yang terjadi secara bersamaan yang dihasilkan jantung sesuai dengan yang dikenali oleh 12 elektroda elektrokardiogram.

I. PERSARAFAN PADA JANTUNG

Di dalam jantung diatur oleh sistem saraf otonom. Sistem saraf otonom berganti pada sistem saraf pusat, dan antara keduanya dihubungkan oleh serat-serat saraf aferen dan eferen. Juga memiliki sifat seolah-olah sebagai bagian sistem saraf pusat, yang telah bermigrasi dari saraf pusat guna mencapai kelenjar, pembuluh darah, jantung, paru-paru dan usus. Oleh karena sistem saraf otonom itu terutama berkenaan dengan pengendalian organ-organ dalam secara tidak sadar. Maka kadang-kadang juga disebut susunan saraf tak sadar. Jantung diatur oleh dua cabang saraf, sistem saraf otonom: simpatis atau adrenergik dan parasimpatis atau kolinergik.

1. **Sistem saraf simpatis** terletak di depan kolumna vertebra dan berhubungan serta bersambung dengan sumsum tulang belakang melalui serat-serat saraf. Sistem saraf simpatis terdiri dari serangkaian serat kembar yang bermuatan ganglion-ganglion. Serat-serat itu bergerak dari dasar tengkorak yang terletak di depan kolumna vertebra. Kemudian berakhir dalam pelvis di depan koksigis, sebagai ganglion koksigeus.
2. **Sistem saraf parasimpatis**, bekerja sebaliknya untuk memperlambat jantung. Salah satu dari sistem saraf parasimpatis adalah saraf vagus atau saraf kranial kesepuluh, membawa impuls yang memperlambat denyut jantung (heart rate) dan konduksi impuls melewati nodus AV dan ventrikel. Rangsangan pada sistem ini mensekresikan senyawa kimia asetikolin, yang memperlambat denyut jantung. Saraf vagus dirangsang oleh baroreseptor (reseptor yang peka terhadap perubahan tekanan), khususnya sel

saraf di aorta dan pembuluh arteri karotid internal. Kondisi yang menstimulasi baroreseptor juga menstimulasi saraf vagus. Sebagai contoh perubahan baroreseptor dapat terjadi selama periode hipertensi atau menggunakan alat untuk menekan arteri karotid untuk menstimulasi baroreseptor. Tindakan ini disebut pijat sinus karotid, baroreseptor pada pembuluh arteri karotid akan teraktivasi dan menyebabkan perlambatan pada kecepatan jantung (heart rate).

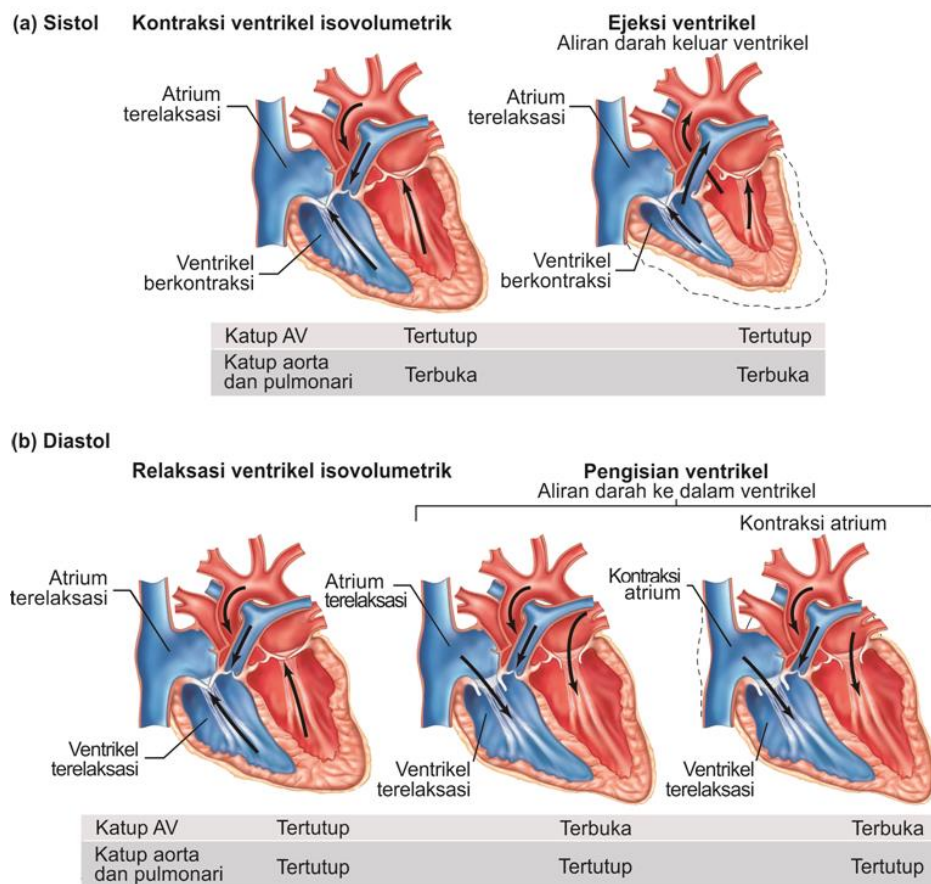
Tabel 3.
Efek stimulasi parasimpatis dan simpatis

Daerah yang Terkena	Efek Stimulasi Parasimpatis	Efek Stimulasi Simpatis
Nodus SA	Mengurangi kecepatan depolarisasi ke ambang; mengurangi kecepatan denyut jantung	Meningkatkan kecepatan depolarisasi ke ambang; meningkatakan kecepatan denyut jantung
Nodus AV	Mengurangi eksibilitas; meningkatkan penundaan nodus AV	Meningkatkan eksabilitas; mengurangi penundaan nodus AV
Jalur Hantaran Ventrikel	Tidak ada efek	Meningkatkan eksitabilitas; mempercepat hantaran melalui berkas His dan sel Purkinje
Otot Atrium	Mengurangi kontraktilitas;memperlemah kontraksi	Meningkatkan konraktilitas; memperkuat kontraksi
Otot Ventrikel	Tidak ada efek	Meningkatkan kontraktilitas; memperkuat kontraksi
Medula Adrenal (Suatu Kelenjar Endokrin)	Tidak ada efek	Mendorong sekresi epinefrin medula adrenal, suatu hormon yang memperkuat efek sistem saraf simpatis pada jantung
Vena	Tidak ada efek	Meningkatkan aliran balik vena, yang meningkat kekuatan kontraksi jantung melalui mekanisme Frank-Starling

J. SIKLUS JANTUNG

Siklus jantung menggambarkan semua kegiatan jantung selama satu detak jantung penuh yaitu, dari melalui satu kontraksi dan relaksasi kedua serambi dan ventrikel. Peristiwa kontraksi (baik serambi maupun ventrikel) disebut sistol, dan peristiwa relaksasi disebut diastol. Siklus jantung meliputi gambaran kegiatan sistol dan diastol pada serambi dan

ventrikel, volume darah, dan perubahan tekanan di dalam jantung dan aksi katup jantung (gambar 7).

1. Relaksasi isovolumetrik ventrikel adalah periode selama ventrikel relaks dan katup AV dan katup memaruh bulan masih tertutup. Volume ventrikel tidak berubah selama periode ini (isovolumetrik).
2. Pengisian ventrikel dimulai ketika katup AV membuka dan darah mengisi ventrikel. Ventrikel tetap berada dalam keadaan diastol selama periode ini.
3. Kontraksi ventrikel (sistol ventrikel) dimulai ketika potensi aksi nodus AV memasuki ventrikel, ventrikel terdepolarisasi, dan kompleks QRS dapat diamati pada EKG.

Gambar 7. Pembagian siklus jantung: (a) sistol; (b) diastol

K. CURAH JANTUNG

Bagaimana kita bisa menilai efektivitas jantung sebagai pompa? Salah satunya adalah dengan mengukur curah jantung [cardiac output (CO)], volume darah yang dipompa oleh satu ventrikel dalam periode waktu tertentu (satu menit) satu menit. Karena semua darah yang meninggalkan jantung mengalir melalui jaringan, curah jantung merupakan indikator aliran darah total melalui tubuh, sehingga curah jantung merupakan ukuran penting dari

fungsi jantung. Namun, curah jantung tidak memberitahu kita bagaimana darah didistribusikan ke berbagai jaringan. Aspek aliran darah diatur pada tingkat jaringan.

Curah jantung [cardiac output (CO)] dapat dihitung dengan mengalikan denyut jantung (denyut per menit) dengan isi sekuncup (mL per beat, atau per kontraksi):

Curah jantung=denyut jantung x isi sekuncup

Untuk rata-rata denyut jantung istirahat 72 detak per menit dan isi sekuncup 70 mL per detak, maka rata-rata curah jantung orang dewasa dapat dihitung:

Curah jantung = denyut jantung x isi sekuncup
= 72 detak / menit x 70 mL / detak
= 5040 mL / menit (atau sekitar 5 L / menit)

Rata-rata volume darah total sekitar 5 liter. Ini berarti bahwa, saat istirahat, satu sisi jantung memompa semua darah dalam tubuh melewatinya hanya dalam satu menit!

Normalnya, curah jantung adalah sama untuk kedua ventrikel. Namun, jika salah satu sisi jantung mulai gagal untuk beberapa alasan dan tidak dapat memompa secara efisien, curah jantung menjadi tidak sama.

Curah jantung meningkat dengan latihan karena keduanya isi sekuncup dan denyut jantung meningkat. Selama latihan, curah jantung dapat meningkat menjadi 30-35 L / menit. Perubahan homeostasis dalam curah jantung dicapai dengan menvariasikan denyut jantung, isi sekuncup, atau keduanya.

Perbedaan antara curah jantung ketika seseorang sedang beristirahat dan curah jantung maksimum disebut cadangan jantung. Semakin besar cadangan jantung seseorang, semakin besar kapasitasnya untuk melakukan latihan. Penyakit jantung dan kurang olahraga bisa mengurangi cadangan jantung dan mempengaruhi kualitas hidup seseorang. Latihan dapat meningkatkan cadangan jantung dengan meningkatkan curah jantung. Pada atlet terlatih, isi sekuncup selama latihan dapat meningkat menjadi lebih dari 200 mL / detk, menghasilkan curah jantung 40 L / menit atau lebih.

1. Isi Sekuncup

Volume darah yang dikeluarkan dari setiap ventrikel selama sistol disebut isi sekuncup [stroke volume (SV)]. Denyut jantung meningkat dengan stimulasi neuron simpatis ke jantung dan oleh epinefrin; dan menurun oleh stimulasi neuron parasimpatis ke jantung. Isi sekuncup meningkat terutama oleh peningkatan volume diastolik akhir (mekanisme Frank-Starling) dan oleh peningkatan kontraktilitas karena stimulasi simpatis atau epinefrin. Peningkatan afterload dapat mengurangi isi sekuncup dalam situasi tertentu. Perlu diingat bahwa ventrikel tidak kosong sepenuhnya. Jumlah darah yang tidak keluar selama setiap siklus adalah perbedaan antara apa yang terkandung pada akhir diastol dan apa yang tersisa pada akhir sistol. Jadi,

Isi sekuncup = volume diastolik akhir – volume sistolik akhir

SV = EDV – ESV

Selama diastol, darah mengalir dari atrium ke ventrikel, dan volume diastolik akhir biasanya meningkat sekitar 125 mL. Setelah ventrikel sebagian kosong selama sistol, volume akhir sistolik menurun sekitar 55 mL. Jadi, isi sekuncup adalah sama dengan 70 mL (125-55). Jadi setiap ventrikel memompa darah sekitar 70 mL setiap detakan, yang mana sekitar 60 % darah di chambernya.

Untuk lebih memahami isi sekuncup, bayangkan bahwa Anda meremas spons di bawah keran air yang mengalir. Ketika Anda merelaksasikan jari-jari Anda, spons terisi dengan air; Anda kemudian menkontraksikan jari-jari Anda, spons akan melepaskan air. Bahkan setelah Anda telah meremas spons, air tetap di dalamnya. Dalam analogi ini, jumlah air yang Anda peras keluar dari spons (isi sekuncup) adalah perbedaan antara jumlah air dalam spons ketika tangan Anda relaksasi (volume akhir diastolik) dan jumlah yang tersisa di spons setelah Anda meremasnya (volume akhir sistolik).

Isi sekuncup dapat ditingkatkan dengan meningkatkan volume diastolik akhir atau dengan mengurangi volume sistolik akhir. Selama latihan, peningkatan volume diastolik akhir karena peningkatan aliran balik vena, yang merupakan jumlah darah yang kembali ke jantung dari sirkulasi sistemik. Volume sistolik akhir menurun karena jantung berkontraksi lebih kuat. Misalnya, isi sekuncup dapat meningkat dari nilai keadaan istirahat 70 mL ke nilai berolahraga 115 mL dengan meningkatkan volume akhir diastolik sampai 145 mL dan penurunan volume akhir sistolik sampai 30 mL. Walaupun beberapa faktor mempengaruhi isi sekuncup dengan mengubah EDV atau ESV, tiga faktor yang paling penting mengatur isi sekuncup yaitu:

a. Preload adalah tingkat dimana sel-sel otot jantung diregangkan oleh darah yang memasuki ventrikel jantung. Menurut hukum Frank Starling tentang jantung, semakin besar peregangan ventrikel jantung maka semakin besar juga kekuatan kontraksinya. Karena volume diastol akhir adalah ukuran seberapa banyak darah yang memasuki ventrikel, maka volume diastol akhir merupakan indikator preload ventrikel.
b. Kontraktilitas (pengerutan) adalah tingkat seberapa besar otot-otot jantung berkontraksi sebagai hasil dari pengaruh ekstrinsik. Faktor-faktor inotropik positif, seperti hormon-hormon tertentu (epinefrin atau tiroksin), obat-obatan (digitalis), atau kadar Ca2+ yang meningkat, dapat menambah kontraktilitas, sedangkan faktor-faktor inotropik negatif seperti obat-obatan tertentu (penghambat saluran kalsium) atau kadar K+ yang meningkat dapat mengurangi kontraktilitas.
c. Afterload adalah ukuran tekanan yang harus dihasilkan ventrikel untuk membuka katup memaruh bulan. Semakin besar afterload, maka semakin kecil isi sekuncup. Arteriosklerosis (peyempitan arteri) dan tekanan darah tinggi menambah afterload dan mengurangi isi sekuncup.

Jadi preload mempengaruhi EDV, sedangkan kontraktilitas dan afterload mempengaruhi ESV.

2. Tekanan Darah

Tekanan darah adalah kekuatan darah terhadap dinding pembuluh darah, biasanya mengacu pada tekanan darah arteri di sirkuit sistemik (dalam aorta dan cabang-cabangnya). Tekanan darah arteri adalah terbesar selama kontraksi ventrikel (sistol) ketika darah dipompa ke aorta dan cabang-cabangnya. Tekanan ini disebut tekanan darah sistolik, dan secara optimal rata-rata 110 milimeter air raksa (mm Hg) ketika diukur di arteri brakialis. Tekanan arteri terendah terjadi selama relaksasi ventrikel (diastol). Tekanan ini disebut tekanan darah diastolik, dan secara optimal rata-rata 70 mm Hg.

Perbedaan antara tekanan darah sistolik dan diastolik dikenal sebagai tekanan nadi. Peningkatan dan penurunan tekanan darah arteri selama sistol dan diastol ventrikel menyebabkan ekspansi yang sebanding dan kontraksi dinding arteri elastis. Perluasan berdenyut dari dinding arteri menyebabkan setiap ventrikel berkontraksi, dan dapat dideteksi nadinya dengan menempatkan jari pada arteri superfisial.

3. Faktor-faktor yang mempengaruhi tekanan darah

Ada tiga faktor utama yang mempengaruhi tekanan darah, yaitu: curah jantung, volume darah, dan resistensi perifer. Peningkatan setiap faktor ini menyebabkan peningkatan tekanan darah, sedangkan penurunan ke tiga faktor ini menyebabkan penurunan tekanan darah.

Ingatlah bahwa curah jantung ditentukan oleh denyut jantung dan isi sekuncup. Peningkatan atau penurunan curah jantung menyebabkan perubahan yang sebanding dengan tekanan darah. Volume darah dapat berkurang karena perdarahan berat, muntah, diare, atau asupan air berkurang. Penurunan volume darah menyebabkan penurunan tekanan darah. Banyak obat yang digunakan untuk mengobati hipertensi beraksi sebagai diuretik, yang berarti obat ini meningkatkan volume urin dan akibatnya volume darah menurun. Begitu cairan yang hilang diganti, tekanan darah kembali normal. Sebaliknya, jika tubuh menahan terlalu banyak cairan, volume darah dan tekanan darah meningkat. Diet tinggi garam merupakan faktor risiko untuk hipertensi karena menyebabkan darah untuk menahan lebih banyak air sebagai akibat dari osmosis, dan menyebabkan peningkatan volume darah.

Resistensi perifer adalah perlawanan terhadap aliran darah yang diciptakan oleh gesekan darah terhadap dinding pembuluh darah. Peningkatan resistensi perifer akan meningkatkan tekanan darah, sedangkan penurunan tahanan perifer menurunkan tekanan darah. Resistensi perifer ditentukan oleh diameter pembuluh, panjang total pembuluh, dan viskositas darah. Arteriol memainkan peran penting dalam mengontrol tekanan dengan mengubah diameter pembuluh darah. Ketika arteriol berkontriksi, resistensi perifer meningkat dan tekanan darah meningkat pula. Ketika arteriol berdilatasi, resistensi perifer dan tekanan darah menurun. Resistensi perifer berbanding lurus dengan total panjang

pembuluh darah di tubuh: semakin panjang total panjang pembuluh, semakin besar resistensi untuk mengalir.

Baroreseptor juga membantu mengatur tekanan darah. Baroreseptor mengukur tekanan darah dan terletak di aorta dan arteri karotis. Jika tekanan meningkat dalam pembuluh darah ini, informasi ini dikirimkan ke pusat jantung di medula oblongata. Pusat jantung kemudian tahu untuk menurunkan denyut jantung, yang kemudian menurunkan tekanan darah. Jika tekanan terlalu rendah di aorta, baroreseptor menangkap informasi ini dan mengirimkannya ke pusat jantung. Pusat jantung kemudian meningkatkan denyut jantung untuk meningkatkan tekanan darah.

Orang gemuk cenderung memiliki hipertensi sebagian disebabkan karena tubuh mereka mengandung lebih banyak pembuluh darah untuk melayani jaringan adiposa tambahan. Viskositas adalah resistensi dari cairan untuk mengalir. Sebagai contoh, air memiliki viskositas rendah, sedangkan madu memiliki viskositas tinggi. Viskositas darah ditentukan oleh rasio plasma terhadap elemen dan protein plasma yang terbentuk. Peningkatan viskositas, atau pergeseran rasio ke arah elemen dan protein plasma yang terbentuk, meningkatkan resistensi perifer dan tekanan darah. Dehidrasi (kehilangan air dari plasma) dan polisitemia (peningkatan jumlah sel darah merah) dapat meningkatkan viskositas. Abnormal dari kadar lemak darah dan gula darah yang tinggi juga merupakan faktor risiko hipertensi karena mereka meningkatkan viskositas darah, selain itu meningkatkan pembentukan plak di dinding pembuluh. Penurunan viskositas dengan hidrasi yang berlebihan atau jenis tertentu dari anemia akan menurunkan resistensi perifer dan tekanan darah.

L. MAP

Tekanan darah diperlukan untuk memindahkan darah dan karena itu sangat penting untuk pemeliharaan homeostasis. Darah mengalir dari daerah dengan tekanan yang lebih tinggi ke rendah. Sebagai contoh, selama satu siklus jantung, darah mengalir dari tekanan yang lebih tinggi di aorta, yang dihasilkan dari kontraksi ventrikel kiri, melalui sirkulasi sistemik, ke tekanan yang lebih rendah di atrium kanan yang terelaksasi.

Tekanan arteri rata-rata [mean arterial pressure (MAP)] adalah sedikit lebih kecil dari tekanan sistolik dan diastolik rata-rata di aorta. Ini berbanding lurus dengan curah jantung kali resistensi perifer. Curah jantung (CO), atau volume menit, adalah jumlah darah yang dipompa oleh jantung per menit, dan tahanan perifer (PR) adalah resistansi total terhadap mana darah harus dipompa:

$$\mathbf{MAP = CO \times PR}$$

Perubahan curah jantung dan tahanan perifer dapat mengubah tekanan arteri rata-rata. Tekanan darah arteri, atau "tekanan darah," mencerminkan tekanan mendorong yang diciptakan oleh aksi pemompaan jantung. Karena tekanan ventrikel sulit untuk diukur,

adalah kebiasaan untuk menganggap bahwa tekanan darah arteri mencerminkan tekanan ventrikel. Karena tekanan arteri berdenyut (pulsatile), kita menggunakan nilai tunggal, tekanan arteri rata-rata (MAP) untuk mewakili tekanan mendorong. MAP tunjukkan secara grafis pada tekanan arteri rata-rata diperkirakan sebagai tekanan diastolik ditambah sepertiga dari tekanan nadi:

MAP = diastolic P + 1/3 (telanan sistolik P – tekanan diastolik)

Untuk seseorang yang tekanan sistolik adalah 120 dan tekanan diastolik adalah 80, maka MAP:

MAP = 80 mm Hg + 1/3 (120 - 80 mm Hg)
= 93 mm Hg

Tekanan arteri rata-rata lebih dekat dengan tekanan diastolik daripada tekanan sistolik karena diastol berlangsung dua kali lebih lama dari sistol.

Kita telah melihat bahwa curah jantung sama dengan denyut jantung dikalikan dengan isi sekuncup. Cara lain untuk menghitung curah jantung adalah dengan membagi tekanan arteri rata-rata (MAP) denagn resistensi (R): CO = MAP/R. Dengan menata ulang persamaan ini, Anda dapat melihat bahwa MAP = CO x R. Jika curah jantung meningkat karena peningkatan isi sekuncup atau denyut jantung, maka tekanan arteri rata-rata naik selama resistensi tetap stabil. Demikian juga, penurunan curah jantung menyebabkan penurunan tekanan arteri rata-rata jika resistensi tidak berubah.

M. KELAINAN, GEJALA, DAN PRINSIP TERAPI

1. Gagal Jantung

Gagal jantung adalah adalah sindrom klinis yang kompleks dihasilkan dari setiap gangguan struktural atau fungsional dari pengisian ventrikel atau ejeksi darah sehingga jantung gagal memompakan darah dalam jumlah yang memadai untuk mencukupi kebutuhan metabolisme, atau jantung dapat bekerja dengan baik hanya bila tekanan pengisian dinaikkan. Penyebab gagal jantung yaitu :

a. Penyempitan pembuluh darah arteri jantung yang disebabkan oleh penyakit kolesterol, dan penumpukan lemak jahat.
b. Adanya kerusakan otot jantung
c. Detak jantung tidak normal
d. Komplikasi penyakit lainnya seperti penyakit hipertensi

Gejala dari penyakit gagal jatung yaitu:

a. Selalu merasakan sakit dan nyeri pada bagian dada.
b. Mudah merasakan capek dan lelah saat beraktivitas lebih
c. Detak jantung tidak beraturan dengan irama yang cepat (takikardia)

d. S3 gallop
e. Sering mengalami sesak nafas
f. Udem paru
g. Kardiomegali radiografi
h. Penurunan kemampuan bergerak
i. Mengalami gejala batuk yang terus menerus atau berulang dan sering
j. Hilangnya fokus fikiran karena tidak bisa konsentrasi

a. Prinsip Terapi

Meningkatkan curah jantung, mempertahankan tekanan darah normal, mencegah komplikasi

1) Terapi farmakologi
   - Golongan obat inotropik: glikosida jantung (digoksin, digitoksin)
   - Golongan diuretika: furosemid,
   - Antagonis aldosteron: spironolakton.
   - Golongan ACE inhibitor/ARB: kaptropil / valsartan
   - Golongan β bloker: bisoprolol, karvedilol
   - Antikoagulan
   - Vasodilator: hidralazin, isosorbid dinitara
   - Statin sebagai terapi ajuvan

2) Terapi non-farmakologi
   - Modifikasi gaya hidup dan pola makan
   - Menkonsumsi makanan rendah lemak seperti yang terdapat pada sayur, buah dan biji-bijian
   - Mengurangi konsumsi gula
   - Berolahraga secara teratur dan istirahat yang cukup

RINGKASAN

- Sistem kardiovaskuler yaitu suatu sistem yang secara umum berperan mengedarkan darah ke seluruh tubuh, sekaligus membawa oksigen dan zat gizi ke semua jaringan tubuh serta mengangkut semua zat buangan. Sistem kardiovaskuler terdiri dari jantung darah dan pembuluh tubuh.
- Fungsi kardiovaskuler ada tiga yaitu; (1) sebagai transpor nutrisi, (2) perlindungan tubuh oleh sel darah putih, dan (3) pengaturan suhu tubuh, pH cairan dan kadar air sel.
- Jantung terletek dalam ruang mediastinum rongga dada, yaitu diantara paru-paru. Apeks jantung, berada di sela iga keempat dan kelima pada garis tengah klavikula. Pada dewasa rata-rata panjangnya kira-kira 12 cm dan lebar 9 cm dengan berat 300 sampai 400 gram
- Jantung terdiri atas 4 ruang, yaitu 2 ruang yang berdinding tipis disebut ventrikel (serambi) dan 2 ruang yang berdinding tebal disebut atrium (bilik).

- Katup jantung terdiri atas tiga yaitu; (1) katup trikuspid, (2) katup semilunar paru, (3) katup bikuspid (mitral), dan (4) katup semilunar aorta.
- Jantung diatur oleh beberapa sistem pengaturan jantung yaitu; (1) serat purkinje, (2) nodus sinoatrial (nodus SA), (3) nodus atrioventrikular (nodus AV), dan (4) berkas AV (berkas HIS).
- Bunyi jantung secara tradisional digambarkan sebagai lup-dup dan dapat di dengar melalui stetoskop. "lup" mengacu pada saat katup AV menutup dan "dup" mengacu pada saat katup semilunar menutup.
- Jantung diatur oleh sistem saraf otonom yaitu sistem saraf simpatis dan sistem saraf parasimpatis.
- Siklus jantung menerangkan urutan kontraksi ventrikel dan pengosongan (diastolik). Aliran darah satu arah melalui jantung bergantung pada adanya katup jantung, yang membuka dan menutup sebagai respons terhadap perbedaan tekanan yang timbul.
- Curah jantung merupakan jumlah darah yang dipompa oleh masing-masing ventrikel per menit. Curah jantung rerata adalah 5 L/menit. Curah jantung ditentukan melalui hubungan nadi dengan volume sekuncup. Curah jantung = nadi x volume sekucup (SV)]. Isi sekuncup ditentukan oleh interaksi tiga variabel: beban awal (preload), beban akhir (afterload), dan kontraktilitas.
- Gagal jantung merupakan suatu keadaan yang terjadi saat jantung gagal memompakan darah dalam jumlah yang memadai untuk mencukupi kebutuhan metabolisme, atau jantung dapat bekerja dengan baik hanya bila tekanan pengisian dinaikkan.
- Hipertensi merupakan sebuah keadaan dimana tekanan darah menjadi tinggi. Tekanan darah merupakan jumlah banyaknya darah yang dipompa menuju jantung dan jumlah darah yang melakukan resistensi terhadap aliran darah yang menuju arteri.
- Infark miokard ini sering disebut juga sebagai serangan jantung yang mengacu pada kematian segmen tertentu dari otot jantung yaitu miokardium, biasanya karena adanya penyumbatan di salah satu arteri koroner utama atau cabangnya.

TES 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Salah satu fungsi jantung adalah .....
   A. Memompa darah keseluruh tubuh
   B. Membentuk urine
   C. Menjaga keseimbangan air dalam tubuh
   D. Mengatur kadar kalium dalam darah
   E. Memproses ulang zat

2) Fungsi gerakan kontraksi pada jantung adalah ...
   A. Menyaring darah yang masuk ke jantung

B. Menambahkan oksigen pada darah yang masuk ke jantung
C. Memompa darah ke seluruh bagian tubuh
D. Menampung darah dari seluruh tubuh
E. Menggerakkan otot-otot jantung

3) Bila jantung tidak memiliki katup yang memisahkan ruang-ruangnya maka yang terjadi adalah ….
A. Darah dari bagian jantung sebelah kanan bercampur dengan darah dari bagian jantung sebelah kiri
B. Darah akan berbalik arah sehingga darah dari ventrikel masuk ke atrium
C. Darah yang kaya oksigen bercampur dengan darah yang kaya karbondioksida
D. Darah dari arteri pulmonalis mengalir menuju paru-paru
E. Darah dari atrium kiri mengalir menuju ventrikel kiri

4) Pembungkus jantung yang melekat pada permukaan jantung disebut …..
A. Epicardium
B. Miocardium
C. Endocardium
D. Pericardium parietalis
E. Pericardium viseralis

5) Pada saat jantung berkontraksi, yang terjadi adalah …..
A. Jantung akan mengembang dan darah mengalir masuk
B. Darah yang berada di ventrikel kiri keluar menuju seluruh tubuh
C. Katup pulmonalis terbuka dan darah dari atrium kanan mengalir ke arteri pulmonalis
D. Darah masuk ke atrium kanan dan atrium kiri
E. Darah dari vena masuk ke atrium kanan

6) Fungsi jantung sebagai pemompa darah ke seluruh tubuh terjadi karena adanya kontraksi. Kontraksi otot jantung dapat terjadi karena ….
A. Otot jantung mempunyai kemampuan untuk menimbulkan rangsangan listrik yang dimulai dari nodus SA
B. Adanya peace maker (pusat picu jantung) yang membuat katup-katup terbuka
C. Adanya gelombang listrik pada bagian ventrikel kiri
D. Atrium mengembang dan ventrikel menguncup
E. Jantung menghasilkan listrik
F. Saraf simpatis

7) Proses terjadinya denyut jatung adalah .....
   A. Nodus SA mengawali gelombang depolarisasi secara spontan sehingga menyebabkan timbulnya potensial aksi yang disebarkan melalui sel-sel otot atrium, nodus AV, berkas His, serabut purkinje dan akhirnya ke seluruh otot ventrikel.
   B. Gelombang listrik diteruskan ke nodus SA kemudian ke nodus AV menuju ke purkinje kemudian ke sel-sel otot jantung sehingga atrium berkontraksi
   C. Nodus AV mengawali gelombang depolarisasi sehingga menyebabkan timbulnya potensial aksi yang disebarkan melalui sel-sel otot atrium
   D. Potensial aksi disebarkan melalui sel-sel otot atrium, nodus AV, berkas His, serabut purkinje dan akhirnya kembali ke otot vetrikel
   E. Gelombang listrik AV menuju ke purkinje kemudian ke sel-sel otot jantung sehingga otot-otot ventrikel berelaksasi

8) Pemacu alamiah jantung adalah ....
   A. SA node
   B. AV node
   C. Berkas his
   D. Sistem purkinje
   E. Sinus koronoria

9) Bagian jantung yang berisi darah kaya oksigen yaitu…
   A. dan Serambi kanan dan serambi kiri
   B. Bilik kiri dan bilik kanan
   C. Ventrikel kiri dan atrium kiri
   D. Ventrikel kanan dan atrium kanan
   E. Atrium kiri dan ventrikel kiri

10) Bagian jantung yang berotot merupakan pengertian dari dinding jantung yaitu
   A. Miokardia
   B. Endokardia
   C. Epikardia
   D. Tunika media
   E. Tunika intima

11) Berat jantung yaitu…
   A. 100 g sampai 200 g
   B. 200 g sampai 300 g
   C. 300 g sampai 400 g
   D. 400 g sampai 450 g
   E. 450 g sampai 500 g

12) Jantung terdiri atas 4 ruang yaitu…
    A. Atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan, venula
    B. Ventrikel kanan, ventrikel kiri, kapiler, venula
    C. Atrium kanan, atrium kiri, kapiler, venula
    D. Atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan, ventrikel kiri
    E. Kapiler, venula, atrium, ventrikel

13) Letaknya antara atrium kanan dan ventrikel kiri merupakan posisi dari katup ….
    A. Katup semilunar paru
    B. Katup trikuspid
    C. Katup bikuspid
    D. Katup semilunar aorta
    E. A dan b, benar

14) Rekaman grafik aktivitas listrik yang menyertai kontraksi atrium dan ventrikel jantung disebut….
    A. Nodus AV
    B. Nodus SA
    C. EKG
    D. Serat purkinje
    E. Potensial aksi

15) Volume darah yang dikeluarkan oleh ventrikel selama kontraksi tunggal disebut…..
    A. Isi sekuncup
    B. Denyut jantung
    C. Curah jantung
    D. Bunyi jantung
    E. Siklus jantung

16) Isi sekuncup diatur oleh tiga faktor yaitu…
    A. Preload, kontraktilitas, afterload.
    B. Curah jantung, kontraktilitas, dan ventrikal.
    C. Afterload, tiroid, dan kontraktilitas.
    D. Denyut jantung, curah jantung, dan kontraktilitas.
    E. Sikus jantung, relaksasi, dan kontraktilitas.

17) Sistem jantung dan pembuluh darah terdiri atas jantung, pembuluh darah, dan darah. Sistem ini mempunyai tiga fungsi utama yaitu…
    A. Mengatur kadar air, mengatur kadar alkohol, dan mengatur denyut jantung.
    B. Transpor nutrisi, pelindung tubuh, dan pengatur suhu tubuh.
    C. Mengatur siklus jantung, pelindung tubuh, dan pengatur suhu tubuh.

D. Pengatur kontraktilitas, dan afterload, dan pelindung suhu tubuh.
E. Pelindung suhu tubuh, transport nutrisi, dan afterload.

18) Frekuensi jantung normal berkisar antara ....
A. 60 sampai 100 denyut per menit, dengan rata-rata denyutan 75 kali per menit.
B. 65 sampai 100 denyut per menit, dengan rata-rata denyutan 70 kali per menit.
C. 70 sampai 100 denyut per menit, dengan rata-rata denyutan 80 kali per menit.
D. 75 sampai 100 denyut per menit, dengan rata-rata denyutan 85 kali per menit.
E. 80 sampai 100 denyut per menit, dengan rata-rata denyutan 90 kali per menit

Topik 2
Pembuluh Darah

Pada topik sebelumnya kita sudah membahas tentang jantung, meliputi anatomi jantung, ruang jantung, fisiologi jantung, kelainan pada jantung dan sebagainya. Nah, materi kali ini akan membahas tentang pembuluh darah, dimana pembuluh darah ini terbagi atas dua yaitu vena dan arteri.

Dalam tubuh kita banyak sekali terdapat pembuluh-pembuluh darah. Pembuluh darah ini bagaikan saluran yang membawa darah yang mengandung nutrisi dan oksigen ke sel, jaringan, dan organ agar sel dan jaringan tetap hidup.

Jadi, sudah terbayang bukan ? bahwa fungsi pembuluh darah ini sangat vital dalam tubuh kita. Apabila pembuluh darah mengalami gangguan, maka dapat menimbulkan berbagai penyakit. Untuk membahas lebih jauh tentang pembuluh darah dan fungsinya, marilah kita bahas secara detail dalam modul ini ini.

Pembuluh darah adalah bagian dari sistem peredaran darah. Pembuluh darah biasa disebut oleh orang awam dengan sebutan urat. Pembuluh darah merupakan jaringan elastis membawa darah yang dipompa dari ventrikel kiri jantung ke seluruh tubuh, kemudian mengembalikannya lagi ke dalam jantung. Darah tersebut mengandung oksigen yang diikat oleh hemoglobin atau **Hb** di dalam darah. Di dalam darah juga terdapat protein dan glukosa yang mana komponen tersebut dibutuhkan oleh jaringan dan sel nantinya, setelah sampai ke seluruh tubuh atau organ targetnya melalui **anastomosis arteriovenosa** dan juga **kapiler.**

Fungsi utama sistem ini adalah menyalurkan darah yang mengandung oksigen ke sel dan jaringan dan mengembalikan darah vena ke paru-paru untuk pertukaran gas oksigen (O2) dengan karbon dioksida (CO2). Pembuluh darah juga berfungsi untuk membawa sel darah putih ketika terjadi infeksi untuk mekanisme penyembuhan, sel darah putih tersebut yang merupakan imunitas tubuh seseorang akan melawan kuman ataupun benda asing yang masuk ke dalam tubuh, sehingga ketika imunitas seseorang melemah ataupun kuman yang masuk ke dalam tubuh terlalu kuat, disitulah seseorang terkena penyakit.

Sistem pembuluh darah pada manusia terdiri dari arteri, arteriola, kapiler, venula, dan vena.

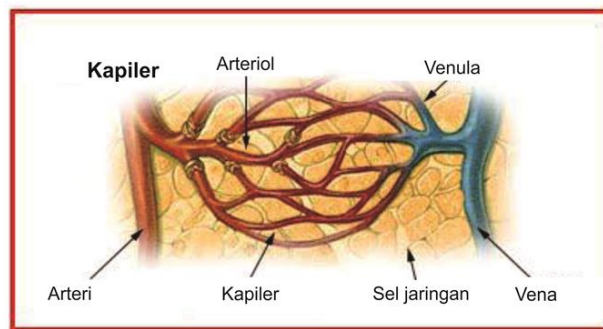
1. Arteri

Dinding aorta dan arteri besar mengandung banyak jaringan penting dan sebagian otot polos. Fungsi arteri yaitu pada saat ventrikel kiri memompa darah masuk ke dalam aorta dengan tekanan tinggi. Dorongan darah secara mendadak ini merenggang dinding arteri yang elastis tersebut, pada saat ventrikel beristirahat maka dinding yang yang elastis tersebut kembali pada keadaan semula dengan memompa darah ke depan, ke seluruh sistem sirkulasi. Di daerah perifer, cabang-cabang sistem arteri berploriferasi dan terbagi lagi menjadi pembuluh darah kecil (gambar 9).

2. Arteriola

Dinding arteriola terutama terdiri dari otot polos dengan sedikit serat elastis. Dinding otot arteriola ini sangat peka dan dapat berdilatasi atau berkontraksi. Bila berkotraksi, arteriola merupakan tempat resistensi utama aliran darah dalam cabang arterial. Saat berdilatasi penuh, arteriola hampir tidak memberi resistensi terhadap aliran darah. Pada pesambungan antara arteriola dan kapiler terdapat sfingter prakapiler yang berada dibawah pengaturan fisiologis yang cukup rumit.

3. Kapiler

Pembuluh darah kapiler memiliki dinding tipis yang terdiri dari lapisan sel endotel. Nutrisi dan mentabolik berdifusi dari daerah berkonsentrasi tinggi menuju daerah berkonsentrasi rendah melalui membran yang tipis dan semi permeabel ini. Dengan demikian oksigen dan nutrisi akan meninggalkan pembekuan darah dan masuk ke dalam ruang interstisial dan sel. Karbondiokida dan metabolik berdifusi ke arah yang berlawanan. Pergerakan cairan antara pembuluh darah dan ruang interstisial bergantung pada keseimbangan relatif antara tekanan hidrostatik dan osmotik jaringan kapiler (gambar 8).

Gambar 8. Kapiler

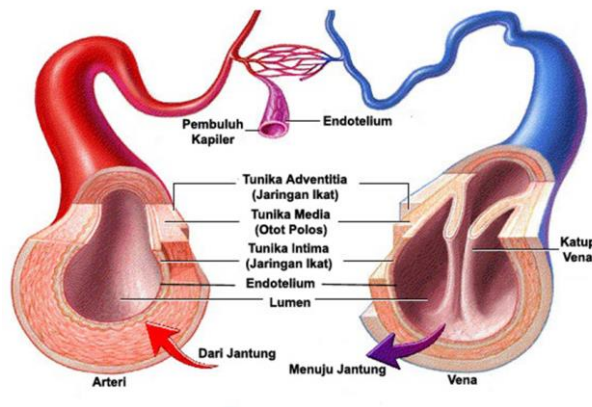
4. Venula

Venula berfungsi sebagai saluran pengumpul dan terdiri dari sel-sel endotel dan jaringan fibrosa.

5. Vena

Vena adalah saluran yang berdinding relatif tipis dan berfungsi menyalurkan darah dari jaringan kapiler melalui sistem vena, masuk ke atrium kanan. Aliran vena ke jantung hanya searah karena katup-katupnya terletak startegis di dalam vena. Vena merupakan pembuluh pada sirkulasi sistemik yang paling dapat merenggang. Pembuluh ini dapat menampung darah dalam jumlah banyak dengan tekanan yang relatif rendah. Sifat aliran vena yang bertekanan rendah bervolume tinggi ini menyebabkan sistem vena ini di sebut sistem kapasitas (gambar 9).

A. STRUKTUR PEMBULUH DARAH

Pembuluh darah terbagi dua, yaitu arteri dan vena (gambar 9).

Gambar 9. Struktur pembuluh darah

1. Arteri

Arteri membawa darah dari jantung ke seluruh tubuh. Pembuluh darah arteri terdiri atas lapisan-lapisan sebagai berikut:

- **Tunika intima** adalah terdalam dari pembuluh darah yang terdiri atas selapis sel endotel yang membatasi permukaan dalam pembuluh.
- **Tunika media** ini adalah lapisan tengah yang terdiri dari serat otot polos yang tersusun melingkar.
- **Tunika adventisia** atau lapisan terluar terdiri atas dengan jaringan ikat kolagen dan elastis, terutama kolagen tipe I.
- **Anastomosis Arteriovenosa** adalah hubungan langsung antara sirkulasi arteri dan vena. Anastomosis arteriovenosa ini tersebar di seluruh tubuh dan umumnya terdapat pada pembuluh-pembuluh kecil berfungsi mengatur sirkulasi pada daerah tertentu, terutama pada jari, kuku, dan telinga.

2. Vena

Vena berfungsi membawa darah dari perifer (tepi) kembali ke jantung dan paru-paru. Vena terdiri dari beberapa lapisan, yaitu :

- **Tunika intima**: terdiri dari lapisan endotelium yang mengandung sel pipih selapis, dan lapisan subendotelium yang berisi jaringan ikat tipis langsung berhubungan dengan tunika adventisia.
- **Tunika media**: lapisan ini tipis, otot polosnya bercampur dengan jaringan ikat.
- **Tunika adventisia**: adalah lapisan paling tebal pada vena, lapisan ini juga lapisan yang paling berkembang. Jaringan ikat longgar dengan serat kolagen yang membentuk berkas-berkas longitudinal, sel fibroblas tampak diantaranya. Sel-sel otot polos juga sering tampak pula.

- **Vasa vasorum** adalah pembuluh darah kecil yang memberikan suplai metabolik-metabolik ke sel-sel di tunika adventisia, tunika intima, dan tunika media.

B. JENIS-JENIS PEMBULUH DARAH

Tabel 4.
Diameter dan fungsi pembuluh darah

Pembuluh Darah	Diameter	Fungsi
Arteri	Diameter arteri bervariasi mulai dari yang paling besar yaitu aorta (±20 mm) sampai ke cabang-cabang yang paling kecil yaitu arteriol (±0,2 mm)	Mengalirkan darah dari jantung ke seluruh tubuh, menghantarkan oksigen dan nutrisi ke semua sel, mengangkut zat buangan misalnya karbon dioksida, menjaga keseimbangan mobilitas protein, kimia, unsur-unsur dari sistem kekebalan tubuh dan sel.
Vena	Darah dari kapiler di kumpulkan ke dalam vena-vena kecil yang disebut venula dengan diameter ±0,2 mm. vena paling besar ialah vena kava superior dan vena kava inferior yang diameternya ±20 mm, sama halnya arteri.	Mengangkut karbon dioksida, menyalurkan darah dari seluruh tubuh menuju jantung.
Kapiler	5-10 µm	Penghubung arteri dan vena, tempat terjadinya pertukaran zat, absorbsi nutrisi pada usus, filtrasi pada ginjal, absorpsi sekret kelenjar.

Tabel 5.
Perbedaan pembuluh darah arteri dan vena

Pembeda	Arteri	Vena
Letak	Agak ke dalam	Agak keluar
Fungsinya	Mengangkut O_2	Mengangkut CO_2
Dinding Pembuluh	Elastis dan kuat	Tipis dan tidak elastis
Kandungan CO_2	Miskin CO_2, kecuali pada arteri pulmonalis yang kaya CO_2	Kaya CO_2, kecuali pada vena pulmonalis yang miskin CO_2
Kandungan O_2	Kaya O_2, kecualai pada arteri pulmonalis yang miskin O_2	Miskin O_2, kecuali pada vena pulmonalis yang kaya O_2
Arah Aliran Darah	Keluar Jantung	Menuju jantung
Denyutan	Terasa	Tidak Terasa

Pembeda	Arteri	Vena
Katup	Pangkal	Sepanjang pembuluh darah
Aliran Darah	Deras	Lambat
Jika Terluka	Memancar	Menetes
Diameter Pembuluh	Lebih kecil dari vena	Lebih besar dari arteri
Warna	Merah terang	Merah gelap
Kecepatan Pembekuan	Lambat dari vena	Cepat dari arteri
Tekanan	Lebih besar dari vena	Lebih kecil dari arteri

1. Peredaran Darah

Sistem peredaran darah manusia merupakan sistem yang sangat berperan dalam keseluruhan aktifitas tubuh. Melalui peredaran darah zat makanan hasil pencernaan diedarkan ke seluruh tubuh yang memerlukan.

2. Organ Penyusun Sistem Peredaran Darah

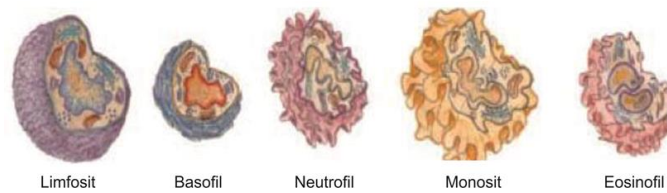
Walaupun sistem peredaran darah terdapat pada seluruh bagian tubuh, namun organ utama penyusun sistem peredaran darah adalah darah, jantung, dan pembuluh darah.

a. Darah

Darah pada manusia terdiri dari plasma darah dan bagian sisanya berupa bagian yang padat, yaitu sel-sel darah atau butir-butir darah.Plasma darah atau cairan darah merupakan bagian cair dari darah yang merupakan 55 % dari bagian darah itu sendiri.Plasma darah, terdiri atas air (± 90%), zat-zat yang terlarut, yaitu protein darah, sari-sari makanan (glukosa dan asam amino), enzim, antibodi, hormon, dan zat sisa metabolisme, serta gas-gas (oksigen, karbondioksida, dan nitrogen).

Di dalam plasma darah terdapat pula fibrinogen yang dapat berubah menjadi benang-benang fibrin, yang berguna untuk menutup luka.Plasma darah yang telah dipisahkan fibrinogennya dinamakan serum. Cairan darah atau plasma darah mengangkut sari-sari makanan dari usus kemudian ke hati, dari hati diedarkan ke seluruh bagian tubuh.Plasma darah mengangkut sisa metabolisme berupa karbondioksida (sebagian diangkut oleh darah merah) kembali dari jaringan ke jantung kemudian ke paru-paru.

Sel-sel darah, terdiri atas sel darah merah, sel darah putih, dan keping darah.Sel darah merah merupakan bagian terbesar dari sel darah yaitu sekitar 99 %. Sel darah merah berbentuk bikonkaf, yaitu bulat, pipih, tengahnya cekung, sering berada dalam keadaan bertumpukan.

Sel darah putih memiliki ukuran lebih besar daripada sel darah merah, tidak berpigmen, dan mempunyai inti yang bentuknya bermacam-macam.Keping darah berbentuk kecil, tidak teratur, tidak berinti dan berkelompok membentuk kepingan-kepingan di dalam darah (gambar10).

Gambar 10. Bentuk-bentuk sel darah putih

b. *Jantung*

Pembahasan tentang jantung lihat kembali KB 1 sebelumnya.

c. *Pembuluh Darah*

Darah mengisi jantung dan seluruh salurannya. Karena ada denyut jantung maka darah dapat mengalir. Pembuluh darah yang berhubungan dengan jantung disebut pembuluh darah utama. Makin jauh dari jantung, pembuluh darah makin bercabang-cabang dan diameter salurannya makin sempit. Akhirnya pembuluh darah tersebut sampai pada jaringan.

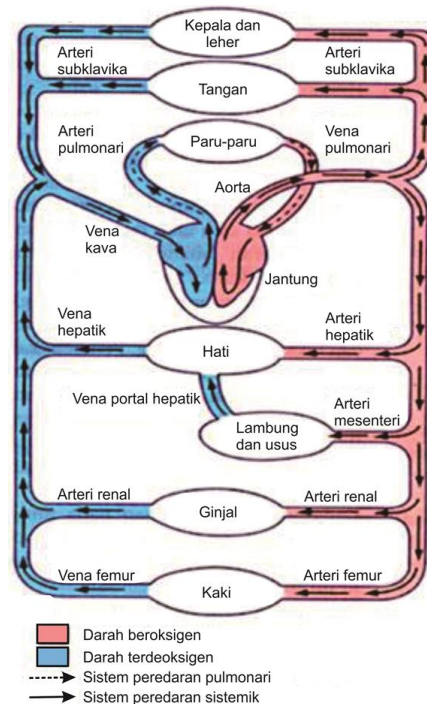
1) Mekanisme Sistem Peredaran Darah

Pada sistem peredaran darah manusia terdapat dua lintasan peredaran darah, yaitu sirkulasi paru-paru (peredaran darah kecil), dan sirkulasi sistemik (peredaran darah besar). Kedua peredaran darah ini disebut peredaran darah ganda.

Sirkulasi paru-paru, Peredaran ini dimulai dari darah kotor yang berada di dalam atrium kanan jantung terpompa keluar (saat jantung berkontraksi), menuju ke arteri pulmonalis. Arteri pulmonalis bercabang dua, satu paru kiri dan satu paru kanan. Sesampainya di paru-paru, karbon dioksida dilepaskan dari tubuh kemudian darah mengikat oksigen. Dari paru-paru, darah yang kaya oksigen mengalir ke dalam vena pulmonalis kiri dan kanan. Vena pulmonalis kiri dan kanan kemudian bersatu menjadi vena pulmonalis. Vena pulmonalis masuk ke ventrikel kiri jantung. Dibandingkan dengan peredaran darah kecil, peredaran darah besar lebih luas lintasannya.

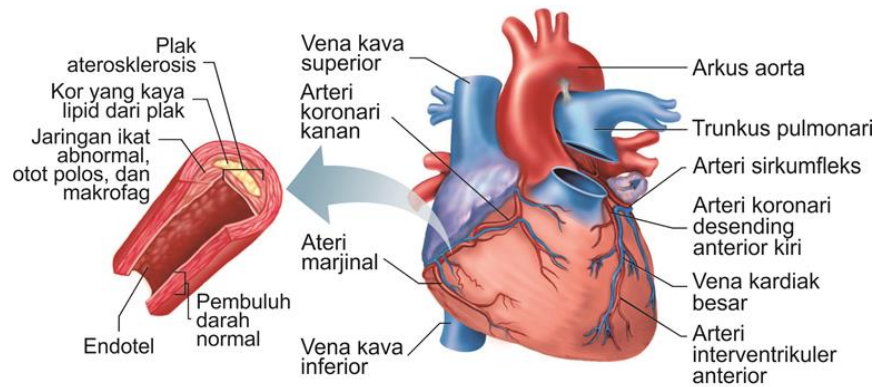
Sirkulasi sistemik, darah harus mencapai berbagai organ dan bagian tubuh atas maupun bawah. Oleh karena itu, peredaran darah besar disebut pula peredaran darah tubuh karena darah mengalir dari jantung ke seluruh tubuh dan kembali lagi ke jantung.

Darah bersih di dalam atrium kiri jantung dipompa masuk ke dalam aorta. Aorta bercabang menuju ke bagian atas tubuh (kepala dan tangan) dan menuju ke bagian bawah tubuh. Aorta yang menuju ke bagian bawah tubuh ada yang menuju ke hati, usus, lambung, ginjal, anggota tubuh, dan ke jaringan tubuh bagian bawah. Dari organ-organ tersebut, darah akan kembali ke jantung melalui pembuluh balik (vena). Dekat ke jantung, vena-vena tersebut bersatu membentuk vena kava posterior dan vena kava anterior. Kemudian masuk ke ventrikel kiri jantung (gambar 11).

Pada sistem peredaran darah manusia, antara darah yang bersih yang banyak mengandung oksigen dengan darah kotor yang mengandung sisa metabolisme tidak pernah tercampur.Peredaran darah berfungsi untuk menjaga agar suhu tubuh tetap.Bagian tubuh yang sedang aktif bekerja biasanya mengeluarkan panas.Panas ini oleh aliran darah terbawa ke bagian tubuh yang lebih dingin.Dengan demikian, suhu tubuh manusia konstan (tetap).

Gambar 11. Mekanisme peredaran darah

2) Pembuluh Darah Koroner

Efisiensi jantung bergantung pada nutrisi dan oksigenasi otot jantung melalui sirkulasi koroner. Sirkulasi koroner meliputi seluruh permukaan epikardium membawa oksigen dan nutrisi ke dalam miokardium dan melalui cabang-cabang intramiokardial yang kecil-kecil. Untuk dapat mengetahui akibat penyakit jantung koroner, maka kita harus mengenal terlebih dahulu distribusi arteri koronari ke otot jantung dan sistem konduksi. Pengetahuan komponen dinding arteri juga harus diketahui agar dapat memahami proses pengobatan aterosklerosis.

Meskipun rongga-rongga jantung selalu terisi penuh dengan darah tetapi darah tersebut tidak dapat memenuhi kebutuhan otot-otot jantung karena tebal miokard tidak memungkinkan darah dari rongga jantung meresap ke jaringan miokard. Darah yang dapat memenuhi kebutuhan energi jantung berasal dari arteri koronari kanan dan kiri yang berasal dari pangkal aorta dan mengalir melingkari jantung pada lekuk diantara atrium dan ventrikel (gambar 12).

Gambar 12. Pembuluh darah arteri koroner dan plak aterosklerosis

3) Sirkulasi Kolateral

Terdapat anastomis antara cabang arteria yang sangat kecil daam sirkulasi koronari. Walaupun saluran antar koroner tidak berfungsi dalam sirkulasi normal, tetapi menjadi sangat penting sebagai rute alternatif atau sirkulasi kolateral untuk mendukung miokardium melalui aliran darah. Setelah terjadi oklusi mendadak “kolateral” ini akan berfungsi dalam beberapa hari atau lebih dari itu pada penyempitan pembuluh darah secara bertahap (seperti pada aterosklerosis), akan terbentuk pembuluh darah fungsional besar secara terus menerus diantara pembuluh darah yang mengalami penyumbatan dan yang tidak. Pembuluh darah kolateral ini sering berperan penting dalam mempertahankan fungsi miokardium saat terdapat oklusi pembuluh darah.

4) Sirkulasi Limfatik

a) Definisi. Sistem limfatik adalah komponen tambahan sistem sirkulasi. Sistem ini terdiri dari organ-organ yang memproduksi dan menyimpan limfosit; suatu cairan yang bersirkulasi (limfa); yang merupakan derivat cairan jaringan; dan pembuluh-pembuluh limfatik yang mengembalikan limfa ke sirkulasi.

b) Fungsi

(1) Sistem limfatik mengembalikan kelebihan cairan jantung yang keluar dari kapilar. Jika cairan tidak dikeluarkan, maka cairan tersebut akan terkumpul dalam ruang antar sel dan mengakibatkan udem.

(2) Sistem limfatik juga mengembalikan protein plasma ke dalam sirkulasi. Setiap protein plasma yang keluar dari kapilar menuju ruang antar jaringan diabsorpsi ke dalam pembuluh limfa. Jika protein dibiarkan terakumulasi, maka tekanan osmotik cairan jaringan akan meningkat dan mengacaukan dinamika kapiler.

(3) Pembuluh limfatik khusus mentranspor nutrisi yang terabsorpsi terutama lemak dari sistem pencernaan ke dalam darah.

(4) Sistem limfatik mengeluarkan zat-zat toksik dan kotoran selular dari jaringan setelah infeksi atau kerusakan jaringan.

(5) Sistem limfatik mengontrol kualitas aliran cairan jaringan dengan cara menyaringnya melalui nodus-nodus limfa sebelum mengembalikannya ke sirkulasi.

C. KELAINAN, GEJALA, DAN PRINSIP TERAPI

- **Penyakit Arteri Koronari**

Penyakit arteri koronari [coronary artery disease (CAD)] adaah jenis paling umum dari penyakit jantung. Penyakit arteri koroner terjadi ketika arteri yang mensuplai darah ke otot jantung menjadi mengeras dan menyempit. Hal ini disebabkan penumpukan kolesterol dan material lainnya, yang disebut plak, pada dinding pembuluh darah. Penumpukan ini disebut aterosklerosis, yang mana menyebabkan kurangnya darah mengalir melalui arteri. Akibatnya, otot jantung tidak bisa mendapatkan darah atau oksigen yang dibutuhkan. Hal ini dapat menyebabkan nyeri dada (angina) atau serangan jantung. Kebanyakan serangan jantung terjadi ketika gumpalan darah tiba-tiba memblokir suplai darah jantung', menyebabkan kerusakan jantung permanen.

a. Gejala

Nyeri dada (angina). Anda mungkin merasa tekanan atau sesak di dada, seolah-olah seseorang sedang berdiri di dada Anda. Rasa nyeri, yang disebut sebagai angina, biasanya dipicu oleh stres fisik atau emosional. Ini biasanya hilang dalam beberapa menit setelah menghentikan aktivitas stres. Pada beberapa orang, terutama wanita, nyeri ini mungkin sekilas atau tajam dan terasa di perut, punggung atau lengan.

Sesak napas. Jika jantung tidak dapat memompa cukup darah untuk memenuhi kebutuhan tubuh Anda, Anda dapat mengembangkan sesak napas atau kelelahan ekstrim dengan beraktivitas.

Serangan jantung. Arteri koronari yang terbokir seluruhnya dapat menyebabkan serangan jantung. Tanda dan gejala klasik serangan jantung meliputi tekanan yang meremukkan di dada dan nyeri di bahu atau lengan, terkadang disertai sesak napas dan berkeringat. Kadang-kadang serangan jantung terjadi tanpa tanda-tanda atau gejala yang jelas.

Penyakit arteri koroner diperkirakan dimulai dengan kerusakan atau cedera pada lapisan dalam arteri koroner, kadang-kadang pada awal masa kanak-kanak. Kerusakan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk:

- Merokok
- Tekanan darah tinggi
- Kolesterol tinggi
- Diabetes atau resistensi insulin
- Gaya hidup

b. Prinsip Terapi

Perubahan gaya hidup, pemberian obat-obatan, dan prosedur medik dapat membantu atau mengobati penyakit jantung koronari. Treatmen ini dapat mengurangi risiko dari masalah yang terkait dengan kesehatan.

1) Terapi Farmakologi
   - Golongan statin
   - Antiplatelet
   - ACE-inhibitor atau ARB
   - Beta bloker
2) Terapi non-farmakologi
   - Modifikasi gaya hidup dan pola makan.
   - Berhenti merokok
   - Berolahraga secara teratur
   - Mengurangi berat badan
   - Mengurangi stres
   - Percutaneous coronary intervention (PCI)
   - Pembedahan, seperti coronary artery bypass grafting (CABG)

RINGKASAN

- Pembuluh darah adalah bagian dari sistem peredaran darah. Pembuluh darah merupakan jaringan elastis membawa darah dari jantung ke seluruh tubuh, kemudian mengembalikannya lagi kedalam jantung. Pembuluh darah termasuk kedalam sistem pembuluh darah, yang mana pada manusia, sistem ini terdiri dari arteria, arteriola, kapiler, venula, dan vena.
- Fungsi utama sistem ini adalah menyalurkan darah yang mengandung oksigen ke sel dan jaringan dan mengembalika darah vena ke paru-paru untuk pertukaran gas oksigen (O2) dengan karbon dioksida (CO2).
- Pembuluh darah terdiri atas beberapa lapisan yaitu: tunika intima, tunika media, dan tunika adventisia.
- Jenis-jenis pembuluh darah yaitu: pembuluh darah arteri, pembuluh darah vena, dan pembuluh darah kapiler.
- Sistem peredaran darah manusia merupakan sistem yang sangat berperan dalam keseluruhan aktifitas tubuh. Melalui peredaran darah zat makanan hasil pencernaan diedarkan ke seluruh tubuh yang memerlukan.
- Organ penyusun sistem peredaran darah yaitu: darah, jantung, dan pembuluh darah
- Pada sistem peredaran darah manusia terdapat dua lintasan peredaran darah, yaitu sirkulasi paru-paru (peredaran darah kecil), dan sirkulasi sistemik (peredaran darah besar). Kedua peredaran darah ini disebut peredaran darah ganda.
- Sirkulasi koroner meliputi seluruh permukaan epikardium membawa oksigen dan nutrisi ke dalam miokardium dan melalui cabang-cabang intramiokardial yang kecil-kecil. untuk dapat mengetahui akibat penyakit jantung koroner, maka kita harus

mengenal terlebih dahulu distribusi arteria koronari ke otot jantung dan sistem konduksi.

- Sistem limfatik adalah komponen tambahan sistem sirkulasi. Sistem ini terdiri dari organ-organ yang memproduksi dan menyimpan limfosit; suatu cairan yang bersirkulasi (limfa); yang merupakan derivate cairan jaringan; dan pembuluh-pembuluh limfatik yang mengembalikan limfa ke sirkulasi.
- Fungsi sirkulasi limfatik yaitu: mengembalikan kelebihan cairan jantung yang keluar dari kapiler, mengembalikan protein plasma ke dalam sirkulasi, mentranspor nutrisi yang terabsorbsi terutama lemak dari sistem pencernaan ke dalam darah, mengeluarkan zat-zat toksik dan debris selular dari jaringan setelah infeksi atau kerusakan jaringan, dan mengendalikan kualitas aliran cairan jaringan dengan cara menyaringnya melalui nodus-nodus limfe sebelum mengembalikannya ke sirkulasi.
- Varises adalah pembesaran pembuluh balik (vena) akibat kelainan katup dalam pembuluh vena. Pembuluh venaini merupakan saluran darah dari anggota tubuh bagian bawah untuk kembali ke jantug.
- Anemia kondisi dimana jumlah sel darah merah atau hemoglobin dalam sel darah merah berada di bawah normal.

TES 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Pembuluh darah yang membawa darah keluar dari jantung ke seluruh tubuh adalah….
   A. Aorta
   B. Arteriol
   C. Kapiler
   D. Vena
   E. Vena pulmonalis

2) Berikut adalah ciri dari pembuluh darah
   1) Tekanan lebih lemah
   2) Tekanan lebih kuat
   3) Lebih tipis dan lebih elastic
   4) Liat dan elastis
   5) Terletak di dekat permukaan kulit

   Yang merupakan cirri dari pembuluh arteri adalah ….
   A. dan (4)
   B. (5) saja
   C. (1), (3), (5)
   D. dan (3)
   E. dan (4)

3) Pembuluh darah yang membawa darah dari kepala menuju ke jantung adalah ....
   A. Vena pulmonalis
   B. Arteri pulmonalis
   C. Aorta
   D. Vena kava superior
   E. Vena kava inferior

4) Urutan pembuluh darah yang membawa darah menuju seluruh tubuh adalah …
   A. Aorta, arteriol, kapiler
   B. Kapiler, vena, arteri
   C. Vena pulmonalis, vena kava inferior, vena kava superior
   D. Arteri pulmonalis, vena kava superior, aorta
   E. Aorta, vena pulmonalis, vena kava superior, vena kava inferior

5) Vena pulmonalis berfungsi untuk ....
   A. Mengangkut darah dari jantung menuju paru-paru
   B. Mengangkut darah dari paru-paru ke jantung
   C. Mengalirkan darah ke atrium kanan
   D. Membawa darah menuju ke jaringan
   E. Mengangkut darah dari ventrikel kiri ke bagian tubuh atas

6) Darah yang dibawa oleh arteri pulmonalis adalah ....
   A. Darah yang kaya akan oksigen
   B. Darah yang kaya akan karbondioksida
   C. Darah yang keluar dari ventrikel kiri
   D. Darah yang berasal dari vena pulmonalis
   E. Darah yang berasal dari aorta

7) Penyataan yang benar tentang pembuluh darah pada jantung adalah …
   A. Darah keluar dari jantung menuju paru-paru melalui aorta
   B. Vena kava superior dan vena kava inferior membawa darah dari seluruh tubuh menuju ke atrium kiri
   C. Vena pulmonalis membawa darah yang mengandung banyak oksigen dan ventrikel kiri menuju paru-paru
   D. Arteri pulmonalis membawa darah yang mengandung oksigen dari paru-paru menuju jantung
   E. Kapiler membawa darah menuju arteriol untuk selanjutnya dibawa ke dalam jaringan

8) Darah yang berasal dari paru-paru merupakan darah yang kaya akan oksigen dan akan masuk ke jantung melalui pembuluh darah. Darah yang berasal dari seluruh tubuh juga akan dibawa kembali ke paru melalui pembuluh darah. Proses ini disebut ….
   A. Pengangkutan darah
   B. Peredaran darah besar
   C. Peredaran darah kecil
   D. Peredaran darah sistemik
   E. Peredaran darah teratur

9) Darah yang berasal dari seluruh tubuh dipompakan ke paru-paru dengan tujuan …
   A. Menambahkan oksigen ke darah tersebut
   B. Menukarkan darah yang kaya karbondioksida dengan darah yang kaya oksigen
   C. Menyaring darah tersebut untuk selanjutnya di gunakan kembali
   D. Untuk meningkatkan kualitas darah
   E. Untuk merelaksasikan jantung

10) Dibawah ini yang merupakan urutan proses peredaran darah kecil adalah …
   A. Jantung – arteri – kapiler – vena – jantung
   B. Jantung – aorta – arteri – kapiler – vena- jantung
   C. Jantung – aorta – paru-paru – jantung
   D. Jantung – seluruh tubuh – jantung
   E. Jantung – paru-paru – jantung

11) Plasma darah merupakan bagian darah yang berupa cairan, berfungsi untuk pengangkutan ….
   A. Oksigen
   B. Karbondioksida
   C. Hemoglobin
   D. Serat-serat makanan
   E. Oksigen dan karbondioksida

12) Kekurangan zat besi menyebabkan penyakit ….
   A. Leukimia
   B. Hipertensi
   C. Anemia
   D. Hipotensi
   E. Aritmia

13) Komponen manakah dibawah ini yang tidak terdapat dalam plasma darah
   A. Fibrinogen
   B. Trombinogen

C. Albumin
D. Oksigen
E. Globulin

14) Bagian darah yang berfungsi mengangkut oksigen adalah …
A. Eritrosit
B. Leukosit
C. Trombosit
D. Plasma darah
E. Albumin

15) Pembuluh darah yang mempunyai volume darah terbesar terdapat pada bagian…
A. Kapiler
B. Pembuluh limfa
C. Vena
D. Jantung
E. Arteri

16) Pernyataan berikut yang benar tentang sistem pembuluh limfa adalah …
A. Gerak cairan limfa yang disebabkan adanya denyut jantung
B. Pembuluh limfa bergabung dengan pembuluh arteri
C. Pembuluh limfa merupakan peredaran terbuka
D. Pembuluh limfa tidak memiliki klep
E. Cairan limfa banyak mengandung sari makanan

17) Dalam sistem peredaran darah manusia dikenal adanya tiga pembuluh darah, yaitu arteri, vena, dan kapiler. Pernyataan berikut ini yang berkaitan dengan vena adalah …
A. Mengangkut darah dimana kadar darah oksigen tinggi
B. Jalannya meninggalkan jantung
C. Mengangkut darah dimana kadar darah karbondioksida tinggi
D. Jalannya menuju jantung
E. mengangkut darah dimana kadar darah karbondioksida tinggi jalannya menuju jantung

Kunci Jawaban Tes

Tes 1

1) A
2) C
3) B
4) E
5) B
6) A
7) A
8) A
9) C
10) A
11) C
12) D
13) B
14) C
15) A
16) A
17) B
18) A

Tes 2

1) A
2) E
3) D
4) A
5) B
6) B
7) C
8) C
9) B
10) G
11) D
12) C
13) D
14) A
15) A
16) C
17) D

Daftar Pustaka

Gerard Tortora, 2014, Principles of Anatomy and Physiology,.

Sanders Tina, Scanlon Valerie, 2006, Essentials of Anatomy and Physiology,.

Saladin, 2003, Anatomy and Physiology The Unity of Form and Function.

Rizzo C Donald, 2015, Fundamentals of Anatomy and Physiology.

Marieb Elaine Nicpon, 2013, Human Anatomy and Physiology

Sherwood, 2014: Human, Physiology - From Cells to Systems

Seeley's, 2014, Anatomy & Physiology, Ed. Ke-10.

Gunstream Stanley, 2015, Anatomy and Physiology with Integrated Study.

Carson, The Anatomy and Physiology Learning System (4E).

Rodney Rhoades, David R Bell, 2013, Medical physiology principles for clinical medicine.

Sue Longenbaker, 2010,Understanding Human Anatomy and Physiology Ed. Ke-7.

BAB IV
SISTEM ENDOKRIN

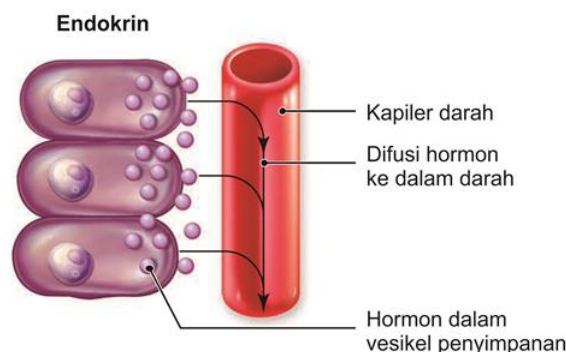
Raimundus Chaliks, S.Si. M.Sc. Apt

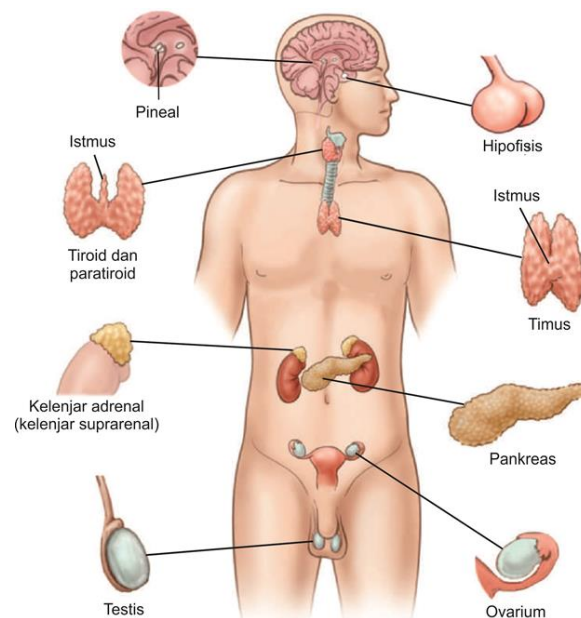
PENDAHULUAN

Hai teman-teman, tahukah kalian bahwa sistem endokrin adalah salah satu sistem yang penting bagi tubuh kita, dimana sistem ini banyak berperan penting dalam menjaga homoestatis tubuh, ketidakseimbangan dari hormon ini akan menyebabkan berbagai gangguan dalam tubuh seperti penyakit gondok dan kekurangan insulin.

Seperti yang telah kita pelajari pada saat masih di SAA/SMF tentang kelenjar endokrin dan yang termasuk dalam kelenjar endokrin. Dalam hal ini kelenjar endokrin merupakan kelenjar yang menghasilkan hormon dan dapat mensekresikan hormon melalui darah tanpa menggunakan saluran khusus, berbeda dengan kelenjar eksokrin yang mengedarkan sekresinya melalui saluran khusus. Beberapa kelenjar yang ada dalam endokrin yakni kelenjar hipofisis, tiroid, paratiroid, timus, pankreas, andrenal, ovarium dan testis yang berfungsi menghasilkan hormon yang diperlukan oleh kelenjar endokrin. Walaupun hormon yang dihasilkan dalam jumlah yang kecil namun keberadaan hormon dalam tubuh sangatlah penting.

Dalam bab 4 ini akan dibahas secara satu persatu hormon-hormon apa saja yang di hasilkan di setiap kelenjar, bagaimana mekanisme kerja hormon, serta apa yang terjadi jika kelenjar tersebut kurang atau tidak menghasilkan hormon. Secara rinci, materi dalam bab 4 ini akan dibagi dalam 2 topik, yaitu:

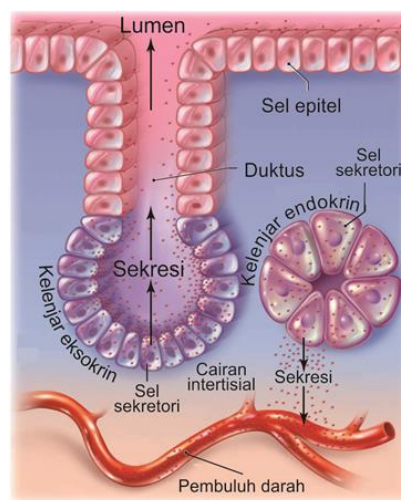
- Topik 1. Sistem Endokrin
- Topik 2. Hormon dari Jaringan dan Organ Endokrin Lainnya

Topik 1
Sistem Endokrin

Sebelum Anda memulai ingatlah kembali materi tentang sel epitel pada bab 1 topik 2. Sistem endokrin terdiri dari sel, jaringan, dan organ, secara kolektif disebut kelenjar endokrin (yang telah dipelajari pada bab 1 topik 2 bagian dari sel epitel). Kelenjar endokrin ditemukan pada sebagian besar organ tubuh (gambar 1) yang mensekresikan hormon (pesan kimia) ke dalam cairan interstisial. Hormon kemudian masuk ke dalam darah untuk dibawa ke jaringan dan organ lainnya dimana mereka melakukan aksinya dengan mengubah fungsi seluler (gambar 2).

Gambar 1. Kelenjar endokrin dan lokasinya di tubuh

Gambar 2. Difusi hormon ke dalam darah

Sebagaimana yang telah dibahas pada bab 1 topik 1 bahwa ada dua jenis kelenjar, yaitu:

1. Kelenjar eksokrin menghasilkan zat nonhormonal seperti keringat dan saliva dan memiliki duktus (tabung) yang membawa zat-zat ini ke permukaan internal atau eksternal membran.
2. Kelenjar endokrin disebut juga sebagai kelenjar tidak berduktus. Kelenjar ini melepaskan hormonnya ke jaringan di sekitarnya dan umumnya mereka memiliki banyak pembuluh darah dan limfatik yang menerima hormon mereka.

Untuk membantu pemahaman Anda dalam membedakan kedua kelenjar tersebut akan diilustrasikan pada gambar 3.

Gambar 3. Perbandingan kelenjar eksokrin dan endokrin

Ada dua jenis organ endokrin, yaitu organ endokrin primer yang fungsi utamnya adalah sekresi hormon, dan organ endokrin sekunder dimana sekresi hormon terjadi secara sekunder ke beberapa fungsi lainnya. Beberapa organ endokrin primer terletak dalam otak, meliputi hipotalamus, kelenjar hipofisis, dan kelenjar pineal. Namun sebagaian besar organ endokrin primer terletak di luar sistem saraf, meliputi kelenjar tiroid, paratiroid, timus, kelenjar adrenal, pankreas, dan gonad (testis pada pria dan ovarium pada wanita). Plasenta juga berfungsi sebagai kelenjar endokrin pada wanita hamil. Kenjar endokrin sekunder meliputi organ jantung, hati, lambung, usus kecil, ginjal, dan kulit.

Hipotalamus bersama dengan fungsi neuralnya melepaskan hormon, sehingga dianggap sebagai organ neuroendokrin. Beberapa organ lainnya juga mengandung sel endokrin yang terpencar atau kelompok kecil dari sel endokrin. Misalnya sel adiposa melepaskqan leptin, timus melepaskan hormon timik.

Hormon akan memberikan respon atau efek hanya pada sel targetnya yaitu sel yang memiliki reseptor spesifik untuk hormon tersebut. Sel yang bukan merupakan sel target untuk hormon tersebut tidak memeiliki resptor spesifik ini dan tidak dipengaruhi oleh hormon. Ilmu yang mempelajari tentang hormon dan organ endokrin disebut endokrinologi.

Hormon disekresikan dalam jumlah yang sangat kecil sehingga konsentrasinya dalam darah sangat rendah. Namun karena mereka beraksi pada sel yang memiliki resptor spsifik, sehingga tidak diperlukan jumlah besar untuk memberikan efek. Secara kimia hormon dapat dikelompokkan ke dalam dua kelompok besar, yaitu steroid yang diturunkan dari kolesterol dan nonsteroid yang diturunkan dari asam amino, peptida atau protein.

Eikosanoid adalah kelompok lainnya dari molekul yang disekresikan oleh sel yang menyebabkan aksi spesifik pada sel lainnya. Molekul lipid beraksi sebagai sinyal parakrin karena mereka dilepaskan ke dalam cairan interstisial dan biasanya mempengaruhi hanya pada sel di dekatnya. Contohnya leukotrin dan prostaglandin. Progtaglandin menghasilkan berbagai efek mulai dari meneyebabkan inflamasi dan pembekuan darah untuk meningkatkan kontraksi uterus dalam proses melahirkan dan meningkatkan tekanan darah. Leukotrin membantu mengatur respon imun dan menyebabkan inflamasi dan beberapa reaksi alergi.

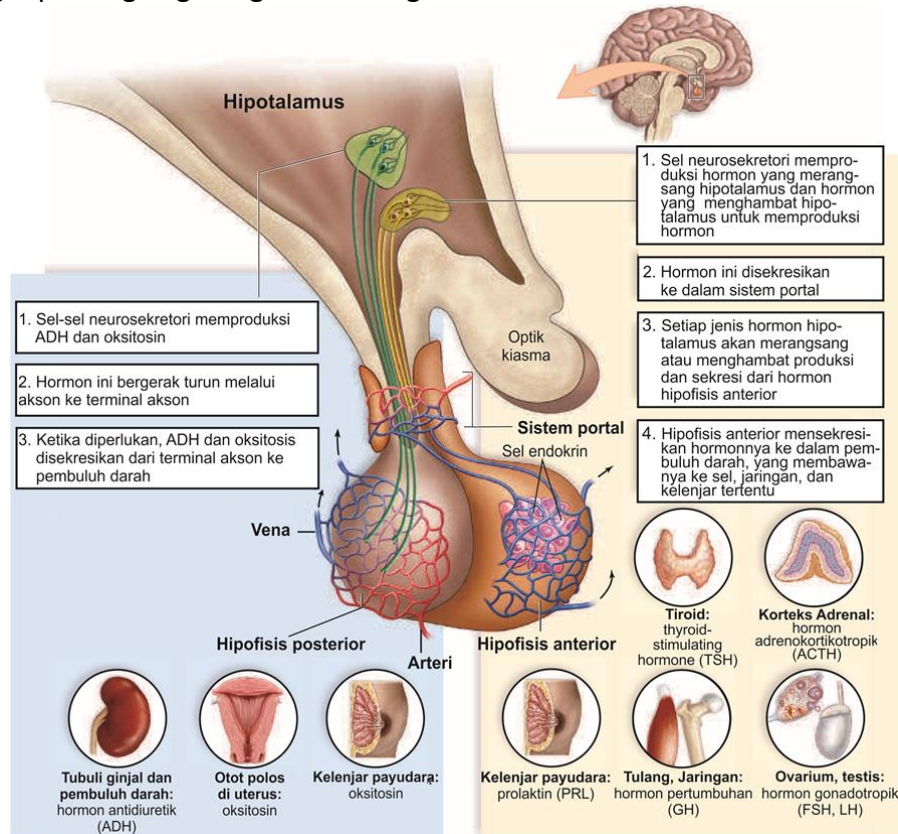
MEKANISME KERJA HORMON

Semua hormon memberikan efeka nya melalui pengikatan pada reseptor sel target untuk hormon tersebut. Semakin banyak reseptor yang berikatan dengan hormonnya semakin besar juga efek yang ditimbulkannya pada sel target. Semua hormon memepengaruhi sel target dengan mengubah aktivitas metabolik mereka. Misalnya mereka dapat mengubah laju proses seluler secara umum atau mereka dapat menyebabkan atau menghambat proses seluler spesifik. Hasil akhir dari semua ini adalah untuk mempertahankan homeosatsis. Misalnya epinefrin atau adrenalin yang mungkin sudah sering kita dengar, dapat kita jadikan salah satu contoh yang baik untuk menjelaskan respon akurat yang ditimbulkan bergantung pada jenis sel target. Ketika hormon epinefrin terikat ke sel otot polos tertentu di dinding pembuluh darah, dia akan menstimulasi dinding pemebuluh darah tersebut untuk bekontraksi. Ketika epinefrin berikatan ke sel lain selain dari sel otot dia akan memberikan efek yang sangat berbeda, dimana dia tidak menyebabkan sel ini untuk berkontraksi.

Hormon umumnya menghasilkan satu atau lebih perubahan berikut:

1. Merubah permeabilitas membran palsma atau potensial membran atau keduanya melalui pembukaan atau penutupan kanal ion.
2. Menstimulasi sintesis enzim atau protein lainnya dalam sel.
3. Mengaktifkan atau menonaktifkan enzim
4. Menginduksi aktivitas sekresi
5. Menstimulasi mitosis

HIPOTALAMUS DAN KELENJAR HIPOFISIS

Secara bersama, hipotalamus dan kelenjar hipofisis berfungsi untuk mengatur hampir setiap sistem tubuh (gambar 4). Hipotalamus adalah bagian dari otak dengan beberapa fungsi tambahan terhadap perannya sebagai kelenjar endokrin. Hipotalamus dianggap sebagai kelenjar endokrin karena dia mensekresikan beberapa hormon (tabel 1), sebagian besar mempengaruhi kelenjar hipofisis. Kelenjar hipofisis memiliki struktur seperti kacang yang terhubung ke hipotalamus oleh tangkai kecil dari jaingan yang disebut infundibulum. Kelenjar hipofisis terbagi ke dalam dua bagian yang berbeda secara struktur dan fungsi yaitu lobus anterior (adenohipofisis) yang berasal dari jaringan epitel kelenjar dan lobus posterior (neurohipofisis) yang berasal dari jaringan saraf, dimana setiap lobus mensekresikan hormon (tabel 2). Hubungan yang berbeda antara hipotalamus dan dua lobus kelenjar hipofisis adalah sangat penting bagi fungsi kedua organ endokrin tersebut.

Gambar 4. Hipotalamus dan kelenjar hipofisis

Sistem portal

Sistem portal terletak antara hipotalamus dan hipofisis anterior. Dalam contoh ini sistem portal digunakan untuk menggambarkan pola unik berikut dari sirkulasi: kapiler-vena-kapiler-vena.

Tabel 1.
Daftar Hormon Hipotalamus, Struktur dan Efek Yang Ditimbulkan.

Hormon Hipotalamus			
Hormon	**Struktur**	**Target**	**Efek**
Growth hormone–releasing hormone (GHRH)	Peptida	Sel hipofisis anterior yang mensekresikan hormon pertumbuhan	Peningkatan sekresi hormon pertumbuhan
Growth hormone–inhibiting hormone (GHIH), atau somatostatin	Peptida kecil	Sel hipofisis anterior yang mensekresikan hormon pertumbuhan	Penurunan sekresi hormon pertumbuhan
Thyrotropin-releasing hormone (TRH)	Peptida kecil	Sel hipofisis anterior yang mensekresikan TSH	Peningkatan sekresi hormon TSH
Corticotropin-releasing hormone (CRH)	Peptida	Sel hipofisis anterior yang mensekresikan hormon adrenokortikotropik	Peningkatan sekresi hormon adrenokortikotropik
Gonadotropin-releasing hormone (GnRH)	Peptida kecil	Sel hipofisis anterior yang mensekresikan luteinizing hormone dan follicle-stimulating hormon	Peningkatan sekresi hormon luteinizing hormone dan follicle-stimulating hormon
Prolactin-releasing hormone (PRH)	Belum diketahui	Sel hipofisis anterior yang mensekresikan prolaktin	Peningkatan sekresi prolaktin
Prolactin-inhibiting hormone (PIH)	Dopamin (derivat asam amino)	Sel hipofisis anterior yang mensekresikan prolaktin	Penurunan sekresi prolaktin

Tabel 2.
Daftar Hormon Hipofise, Struktur dan Efek Yang Ditimbulkan.

Hormon Kelenjar Hipofisis				
Hormon	**Struktur**	**Organ target**	**Efek**	**Efek pada ↓ hipo dan ↑ hipersekresi**
Hipofisis Posterior (Neurohipofisis)				
Hormon antidiuretik (ADH)	Peptida kecil	Ginjal	Meningkatkan penyerapan kembali air	↓ Diabetes insipidus ↑ Sindrom sekresi SIADH
Oksitosin	Peptida kecil	Uterus, kelenjar	Meningkatkan kontraksi	Belum diketahui

Hormon Kelenjar Hipofisis				
Hormon	**Struktur**	**Organ target**	**Efek**	**Efek pada ↓ hipo dan ↑ hipersekresi**
		payudara	uterus, meningkatkan pengeluaran ASI dari kelenjar payudara, fungsinya pada laki-laki tidak jelas	
Hipofisis Anterior (Adenohipofisis)				
Hormon pertumbuhan (GH) atau somatotropin	Protein	Sebagaian besar jaringan	Meningkatkan pertumbuhan jaringan, meningkatkan ambilan asam amino dan sintesis protein, meningkatkan pemecahan lipid dan pelepasan asam lemak dari sel, meningkatkan sintesis glikogen dan kadar gula darah, meningkatkan produksi somatomedin	↓ Kekerdilan hipofisis pada anak-anak ↑ Gigantisme pada anak-anak; akromegali pada orang dewasa
Thyroid stimulating hormone (TSH) atau dikenal juga sebagai tirotropin	Glikoprotein	Kelenjar tiroid	Meningkatkan sekresi hormon tiroid	↓Kretinisme pada anak-anak; myxedema pada orang dewasa ↑Hipertiroidisme; efek mirip dengan penyakit Graves, di mana antibodi meniru

Hormon Kelenjar Hipofisis				
Hormon	**Struktur**	**Organ target**	**Efek**	**Efek pada ↓ hipo dan ↑ hipersekresi**
				TSH
Hormon adrenokortikotropik [Adrenocorticothropic hormone (ACTH)]	Peptida	Koreteks adrenal	Meningkatkan sekresi hormon glukortikoid	↓ Jarang ↑ Penyaking Cushing
Lipotropin	Peptida	Jaringan adiposa	Meningkatkan pemecahan lipid	
?-endorfin	Peptida	Otak, tapi tidak semua jaringan target diketahui	Analgetik di otak, menghambat sekresi hormon yang dilepaskan oleh gonadotropin	
Melanocyte stimulating hormone (MSH)	Peptida	Melanosit di kulit	Meningkatkan produksi melanin di melanosit untuk membuat warna kulit menjadi lebih gelap	
Follicle-stimulating hormone (FSH)	Glikoprotein	Folikel ovarium pada wanita di; tubulus seminiferus pada laki-laki	Pematangan folikel dan sekresi estrogen di ovarium; produksi sel sperma di testis	↓ Kegagalan seksual pematangan ↑ Tidak ada efek yang penting
Luteinizing hormone (LH)	Glikoprotein	Ovarium pada wanita, testis pada laki-laki	Ovulasi dan produksi progesteron di ovarium, sintesis testosteron dan dukungan untuk produksi sel sperma di	Seperti FSH

Hormon Kelenjar Hipofisis				
Hormon	**Struktur**	**Organ target**	**Efek**	**Efek pada ↓ hipo dan ↑ hipersekresi**
			testeis.	
Prolaktin	Protein	Ovarium dan kelenjar payu dara pada wanita	Produksi ASI pada wanita menyusui; meningkatkan respon folikel terhadap LH dan FSH	↓ Produksi ASI kurang pada wanita menyusui ↑ Produksi ASI yang tidak pantas (galaktorea); penghentian menstruasi pada wanita; impotensi pada laki-laki

Secara bersama, sistem saraf dan sistem endokrin mengatur dan megkoordinasikan aktvitas semua struktur tubuh secara esensial untuk mencapai dan mempertahankan homeostasis. Seperti yang telah Anda pelajari pada modul 2 sebelumnya, fungsi sistem saraf sebagai sistem komunikasi, mengirimkan pesan dalam bentuk potensial aksi sepanjang akson neuron dan dalam bentuk neurotransmiter di sinaps antara neuron dan sel yang mereka kontrol. Sistem endokrin seperti layaknya pelayanan pos yang mengirim surat. Setiap penghuni menerima surat tetapi hanya penghuni yang memahami surat yang dapat menerjemahkannya. Sistem endokrin mengirim informasi ke sel yang dikontrolnya dalam bentuk hormon yang dibawa oleh aliran darah ke semua bagian tubuh. Sel dengan reseptor yang sesuai untuk hormonnya akan memberikan respon, sedangkan sel tanpa reseptor untuk hormon tersebut tidak akan memberikan respon.

Dari apa yang telah dijelaskan di atas, keduanya sistem saraf dan sistem endokrin mengontrol target mereka dengan pesan senyawa kimia. Namun, apakah perbedaan antara kedua sistem tersebut. Dalam kenyataannya sulit untuk membedakan kedua sistem tersebut secara terpisah karena mereka memiliki banyak kemiripan, yaitu:

1. Kedua sistem memliki struktur terkait dengan otak. Secara anatomi hipotalamus memainkan peran penting dalam sistem saraf dan sistem endokrin
2. Dalam kebanyakan kasus, sistem saraf menggunakan molekul tertentu seperti neurotransmiter dan sistem endokrin juga dapat menggunakan molekul yang sama sebagai hormon. Misalnya, ketika neuron mensekresikan epinefrin ke celah sinaps, itu adalah neurotransmiter. Sebaliknya ketika sel dari kelenjar adrenal mensekresikan epinefrin ke dalam aliran darah, itu adalah hormon.
3. Kedua sistem bekerja sama untuk mengatur proses tubuh dalam kondisi kiritis.
4. Beberapa neuron mensekresikan hormon. Dalam kasus ini, dalam melakukan komunikasi langsung dengan sel lainnya, neuron melepaskan pesan kimia yang masuk ke aliran darah dan berfungsi sebagai hormon. Untuk membantu membedakan pesan

kimia dari neurotransmiter dan hormon lain, maka mereka sering disebut sebagai **neuropeptida**, atau neurohormon. Contoh neuropeptida adalah hormon oksitosin yang menginduksi persalinan.

5. Keduanya neurotransmitter dan hormon dapat mempengaruhi target mereka melalui reseptor yang terhubungkan protein G.

Disamping memiliki kemiripan antara sistem saraf dan sistem endokrin, keduanya juga memiliki beberapa perbedaan penting:

1. Mekanisme transport. Sistem endokrin mensekresikan hormon yang ditransporkan ke dalam aliran darah, sedangkan sistem saraf mensekresikan neurotransmiter yang dilepaskan langsung ke sel target mereka.
2. Kececapatan respon. Secara umum sistem saraf merespon lebih cepat dari sistem endokrin.
3. Durasi respon. Sistem saraf umumnya mengaktifkan responnya lebih cepat dan hanya selama potensial aksi dikirim ke target.

Sifat Kimia Hormon

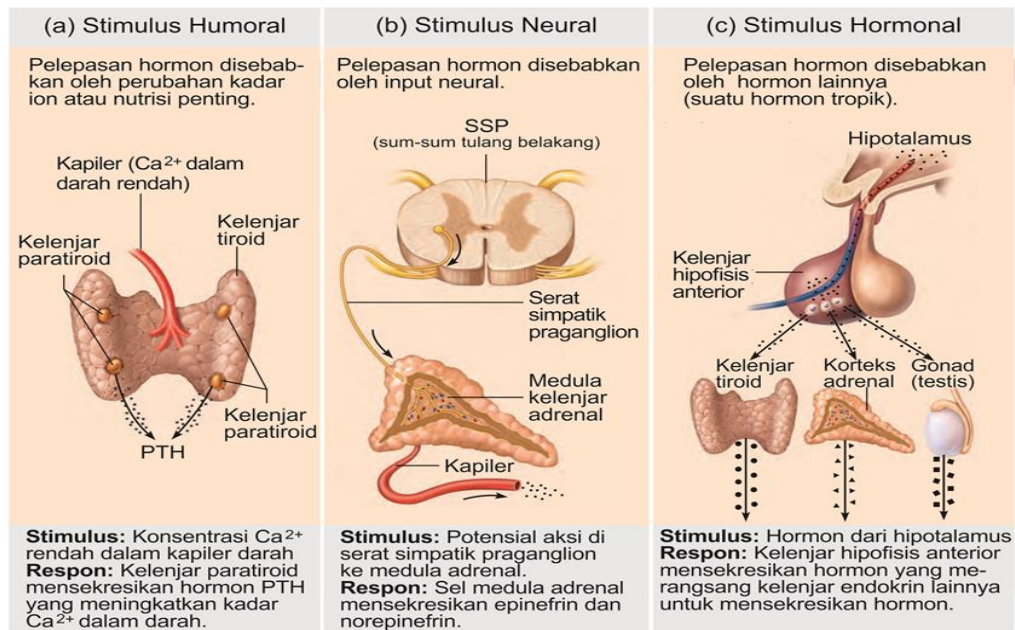
Hormon dibagi ke dalam dua kategori kimia:

1. Hormon yang larut dalam lipid (*lipid-soluble hormones*)
2. Hormon yang larut dalam air (*water-soluble hormones*)

Oleh karena itu seluruh dasar interaksi hormon dengan targetnya bergantung pada sifat kimia hormon.

Dalam dua kategori kimia tersebut, hormon dibagi lagi menjadi ke dalam kelompok berdasarkan struktur kimianya. Hormon steroid yang diturunkan dari kolesterol, dan hormon tiroid yang diturunkan dari asam amino tirosin, sedangkan hormon lainnya dikelompokkan sebagai derivat asam amino, peptida, atau protein, termasuk glikoprotein.

Hormon yang larut lipid

Hormon yang larut lipid adalah bersifat nonpolar dan meliputi hormon steroid, tiroid, dan hormon derivat asam lemak seperti eikosanoid tertentu. Kelompok hormon ini beraksi pada reseptor di dalam sel yang langsung mengaktifkan gen.

Hormon yang larut dalam air

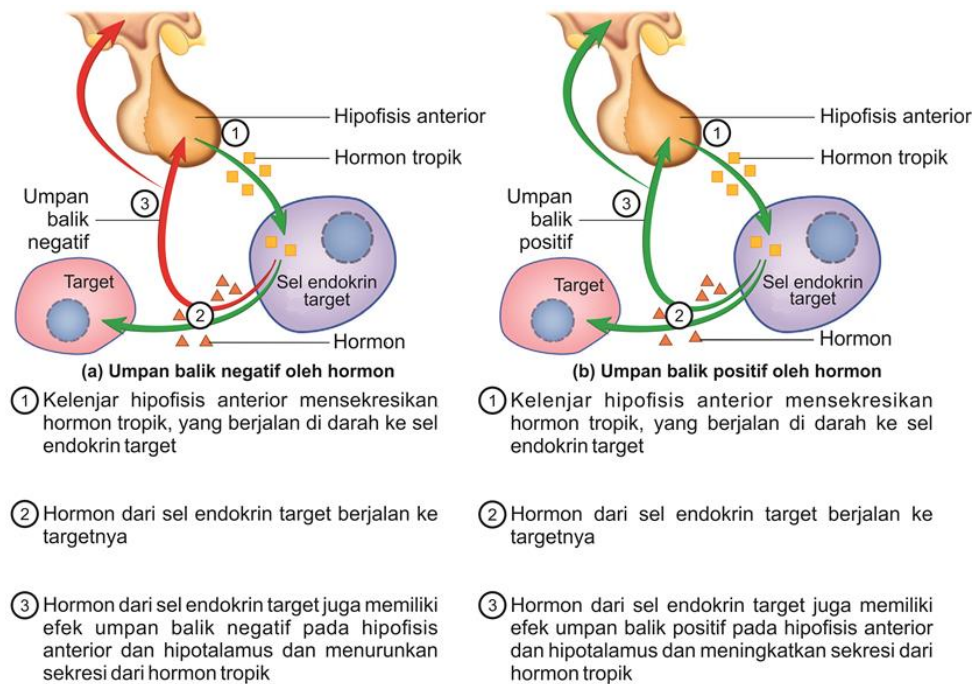
Hormon yang larut dalam air adalah molekul polar, meliputi hormon protein, peptida, dan homon derivat asam amino. Kelompok hormon ini beraksi pada reseptor di membran plasma.

Pengaturan Kadar Hormon Dalam Darah

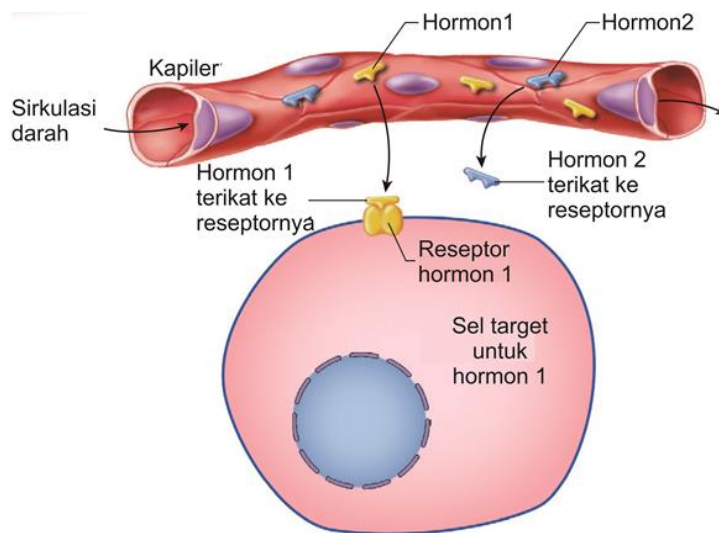
Sekresi hormon ke dalam pembuluh darah perlu dikontrol, jika tidak akan mengalami kekurangan atau kelebihan produksi yang dapat menyebabkan penyakit. Merangsang sekresi

hormon adalah penting, tapi dengan begitu juga menghambat pelepasan hormon. Proses ini melibatkan tiga jenis rangsangan yang sama: humoral, saraf, dan hormonal (gambar 5).

Gambar 5. Tiga jenis stimuli kelenjar endokrin

Dua mekanisme utama mempertahankan kadar hormon dalam darah dalam rentang homeostatis: umpan balik negatif dan umpan balik positif (lihat modul 1 KB 1). Mekanisme umpan balik negatif dan positif dari hormon ditunjukkan pada gambar 6.

Gambar 6. Mekanisme umpan balik negatif

Reseptor Hormon dan Mekanisme Aksi

Hormon memperlihatkan aksi mereka dengan berikatan ke protein yang disebut reseptor. Hormon dapat merangsang hanya pada sel yang memiliki reseptor untuk hormon tersebut. Bagian dari setiap molekul reseptor di mana hormon mengikat disebut situs reseptor, dan bentuk dan karakteristik kimia masing-masing situs reseptor memungkinkan hanya jenis tertentu hormon untuk mengikat untuk itu. Kecenderungan untuk setiap jenis hormon untuk mengikat satu jenis reseptor, dan tidak kepada yang lainnya, disebut spesifisitas (gambar 7). Misalnya, insulin mengikat reseptor insulin, tetapi tidak untuk reseptor untuk hormon tiroid. Namun, beberapa hormon, seperti epinefrin, dapat mengikat "keluarga" dari reseptor yang secara struktural mirip. Karena reseptor hormon memiliki afinitas tinggi terhadap hormon mereka yang terikat kepadanya (reseptor), sehingga hanya konsentrasi kecil dari hormon yang diberikan diperlukan untuk mengaktifkan sejumlah besar reseptornya.

Gambar 7. Jaringan spesifik dan respon

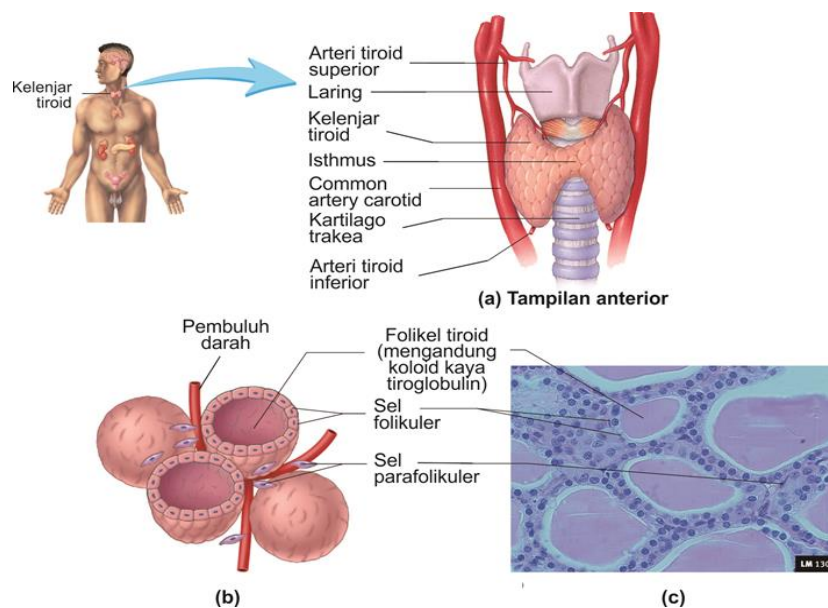
Sistem neuroendokrin

Secara bersama sistem saraf dan endokrin mengontrol semua perubahan yang terjadi di tubuh dan pada tingkat tertentu mereka mengontrol satu sama lain. Misalnya sistem saraf dapat merangsang atau menghambat pelepasan hormon sementara sistem endokrin dapat memberikan atau menghambat impuls saraf. Namun demikian terdapat beberapa perbedaan antara kedua sistem tersebut.

Kelenjar Tiroid

Kelenjar tiroid berbentuk kupu-kupu terletak di leher anterior, pada trakea inferior terhadap laring (gambar 8). Terdiri dari dua lobus, masing-masing lateral ke trakea yang dihubungkan oleh ismus anterior Kelenjar tiroid adalah kelenjar endokrin terbesar dalam tubuh. Pasokan darahnya yang luar biasa (dari arteri tiroid superior dan inferior) membuat

operasi tiroid cukup melelahkan (dan berdarah). Meskipun kelenjar tiroid hanya 0,4% dari berat tubuh, dia menerima 2% dari pasokan darah sirkulasi.

Pembuluh darah yang banyak untuk memasok nutrisi untuk sisntesis hormon dan aliran darah untuk mengangkut hormon. Unit fungsional dari kelenjar adalah folikel yang terisi dengan tiroglobulin (Tg). Tg adalah prekursor glikoprotein untuk hormon tiroid dan Tg yang dimodifikasi secara kolektif dikenal sebagai koloid. Sel folikel dikelilingi oleh lapisan sel epitel. Yang tersebar di antara folikel adalah sel parafolikuler, yaitu sel yang menghasilkan kalsitonin. Di membran basal sel folikuler terdapat reseptor yang terhubungkan dengan protein G untuk thyroid-stimulating hormone (TSH).

Gambar 8. Anatomi dan histologi kelenjar tiroid.

(a) Tampilan anterior kelenjar tiroid. (b) Histologi kelenjar tiroid. Kelenjar ini terbentuk dari beberapa folikel sferik tiroid yang mengandung koloid yang kaya tiroglobulin. Sel parafolikuler berada diantara di dalam jaringan antara folikel tiroid.

Kelenjar tiroid melepaskan dua bentuk hormon tiroid, yaitu tiroksin (T4) dan triiodotironin (T3), keduanya membutuhkan iodin untuk pembentukannya. Ion iodida diambil dari diet normal yang dipekatkan oleh kelenjar tiroid dan diubah dalam sel folikel menjadi iodin. Iodin ini kemudian dihubungkan ke molekul tirosin dan molekul tirosin teriodinasi ini kemudian dihubungkan bersama untuk membentuk T3 dan T4. Semua langkah-langkah dalam produksi hormon tiroid dirangsang oleh TSH. Tiroksin (T4) adalah hormon utama yang disekresikan oleh kelenjar tiroid yang kemudian diubah menjadi T3 oleh sel target. Sebagian besar hormon tiroid terikat ke protein transpor dalam darah, sangat sedikit yang tidak terikat atau bebas dan T3 kurang kuat terikat ke protein transpor daripada T4.

Hormon tiroid mempengaruhi hampir setiap sel dalam tubuh, kecuali:
- Otak orang dewasa
- Organ ginjal
- Testis
- Uterus
- Kelenjar tiroid

Keduanya T4 dan T3 dengan mudah melintasi membran sel dan berinteraksi dengan reseptor di dalam sel. Di sel target hormon tiroid merangsang enzim yang terlibat dengan oksidasi glukosa. Ini dikenal sebagai efek *calorigenic* dan efek secara keseluruhan adalah:
- Peningkatan laju metabolik basal
- Peningkatan konsumsi oksigen oleh sel
- Peningkatan produksi panas tubuh

Laju metabolisme basal adalah jumlah energi yang dikeluarkan ketika beristirahat di lingkungan bersuhu sedang (tidak panas atau dingin). Pelepasan energi dalam kondisi ini cukup untuk fungsi organ vital. Ketika laju metabolik basal meningkat, maka konsumsi oksigen akan meningkat dimana oksigen diperlukan dalam produksi energi.

Hormon tiroid juga memiliki peran penting dalam mempertahankan tekanan darah, dimana dia menstimulasi peningkatan jumlah reseptor di dinding pembuluh darah. Kontrol pelepasan hormon tiroid dimediasi oleh sistem umpan balik negatif yang melibatkan hipotalamus melalui kelenjar hipofisis. Kadar plasma hormon tiroid dimonitor di hipotalamus dan oleh sel di lobus anterior kelenjar hipofisis.

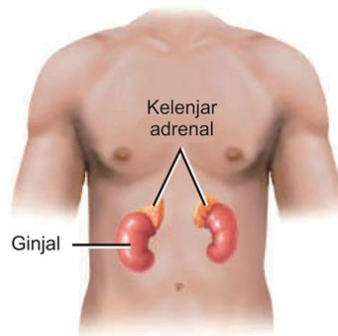
Hormon tiroid [thyroid hormone (TH)] memiliki aksi biologis di setiap organ dalam tubuh dan sangat penting untuk janin, pasca kelahiran, dan pertumbuhan dan perkembangan masa pubertas. Selain itu, aksi hormon tiroid untuk mempertahankan laju metabolik basal [basal metabolic rate (BMR)].

Kelenjar Paratiroid

Kelenjar paratiroid adalah kelenjar kecil yang terletak pada permukaan superior kelenjar tiroid. Umumnya terdapat empat kelenjar tiroid, dua kelenjar pada setiap lobus (gambar 9). Setiap kelenjar memiliki massa sekitar 40 mg (0,04 g). Kelenjar tiroid tersusun atas dua jenis sel, yaitu sel chief dan sel oxyphils. Sel chief mensekresikan hormon paratiroid (PTH) juga disebut parathormone. Fungsi sel oxyphils belum diketahui.

Hormon paratiroid [parathyroid hormone (PTH)] adalah suatu hormon polipeptida yang penting dalam mengontrol dan mengatur kadar kalsium dalam darah. Kontrol akurat kadar kalsium adalah sangat penting, karena homeostasis Ca2+ adalah esensial untuk berbagai fungsi meliputi transmisi impuls saraf, kontraksi otot, dan pembekuan darah. Jaringan target utamanya adalah tulang, ginjal, dan usus kecil.

Aksi spesifik dari PTH adalah meningkatkan jumlah dan aktivitas osteoklas. Hasil ini meningkatkan resorpsi tulang, yang mana melepaskan ion kalsium (Ca2+) dan fosfat (HPO42)

ke dalam darah. Aksi PTH pada ginjal, pertama, memperlambat atau menghambat ekskresi Ca2+ dan Mg2+ dari darah ke dalam urin. Kedua meningkatkan ekskresi HPO42- dari darah ke dalam urin. Aksi antagonis ini, kalsitonin dari kelenjar tiroid, dan hormon paratiroid dari kelenjar paratiroid bertujuan untuk mempertahankan kadar kalsium darah dalam batas normal. Efek ketiga PTH pada ginjal yaitu mendukung pembentukan hormon calcitrol (bentuk aktif vitamin D3). Kalsitrol meningkatkan laju penyerapan Ca2+, HPO42-, Mg2+ dari saluran pencernaan ke dalam darah.

Ketika produksi hormon paratiroid tidak adekuat akan mengakibatkan penurunan kadar kalsium darah yang dramatis sehingga terjadi hipokalsemia. Gejala dari hipokalsemia adalah nerves (gugup), kejang otot, aritmia jantung, dan konvulsi (kejang). Pada kasus yang ekstrim dapat menyebabkan tetanus pada otot rangka, meliputi otot pernapasan. Pada tetanus, otot berkontraksi secara terus menerus. Efek ini akan meningkatkan eksitabilitas saraf, yang mengawali impuls saraf secara spontan dan tanpa istirahat. Dalam beberapa kasus tetani hipokalsemia dapat menyebabkan kematian. PTH meningkatkan kadar Ca2+ darah melalui pelepasan kalsium dari tulang oleh osteoklas dan penghambatan penimbunan (deposit) Ca2+ oleh osteoblast.

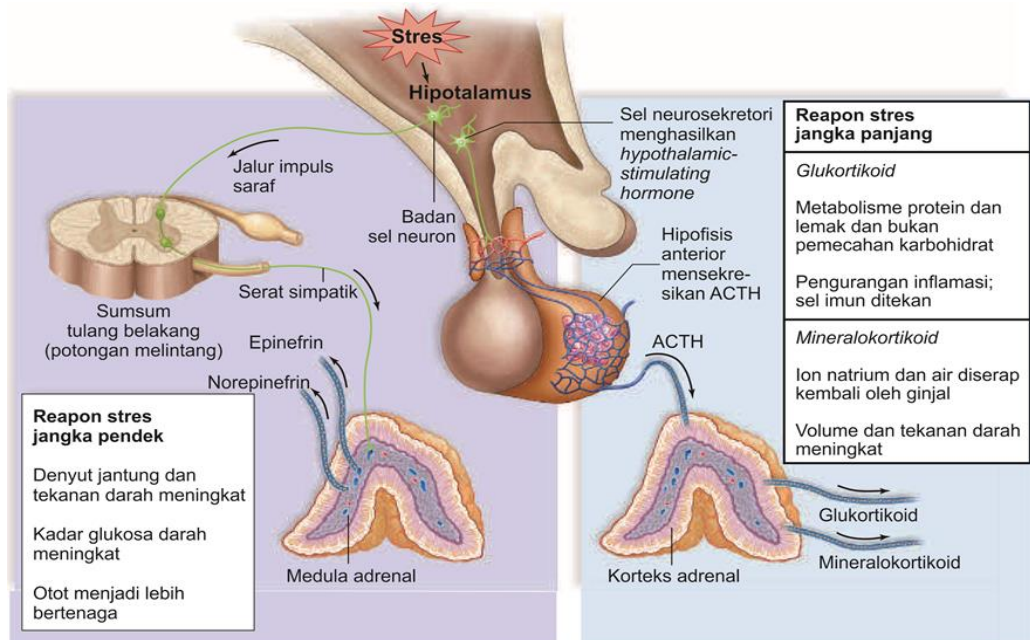
Tabel 3.
Kontrol, aksi, dan gangguan kelenjar tiroid dan paratiroid

<table>
<tr><th>Hormon</th><th>Kontrol</th><th>Aksi</th><th>Gangguan</th></tr>
<tr><td>Tiroksin (T_4) dan triiodotironin (T_3)</td><td>TSH dari lobus anterior kelenjar hipofisis</td><td>Meningkatkan laju metabolisme; merangsang aktivitas saraf</td><td rowspan="2">Hiposekresi pada bayi dan anak-anak menyebabkan kretinisme; pada orang dewasa menyebabkan miksedema. Hipersekresi menyebabkan penyakit Graves. Defisiensi iodin menyebabkan simple goiter</td></tr>
<tr><td>Kalsitonin [calcitonin (CT)]</td><td>Kadar Ca^{2+} darah</td><td>Mengurangi kadar Ca^{2+} darah dengan meningkatkan deposit Ca^{2+} di tulang, menghambat pelepasan Ca^{2+} dari tulang, meningkatkan ekskresi Ca^{2+} oleh ginjal</td></tr>
<tr><td>Hormon paratiroid [parathyroid hormone (PTH)]</td><td>Kadar Ca^{2+} darah</td><td>Meningkatkan kadar Ca^{2+} darah dengan meningkatkan pelepasan Ca^{2+} dari tulang, dan reabsorpsi Ca^{2+} oleh ginjal</td><td>Hiposekresi menyebabkan tetani, yang dapat berujung pada kematian. Hipersekresi meyebabkan lelah, yang dapat fraktur secara spontan</td></tr>
</table>

Kelenjar Adrenal

Sepasang kelenjar adrenal juga dikenal sebagai kelenjar suprarenal, karena terletak di atas ginjal dalam ruang retropeneal (gambar 10). Dua kelenjar adrenal (kanan dan kiri) terdiri dari lapisan medula bagian dalam (tengah) dan lapisan kortikal (korteks) bagian luar yang menghasilkan katekolamin dan hormon steroid yang penting untuk kehidupan.

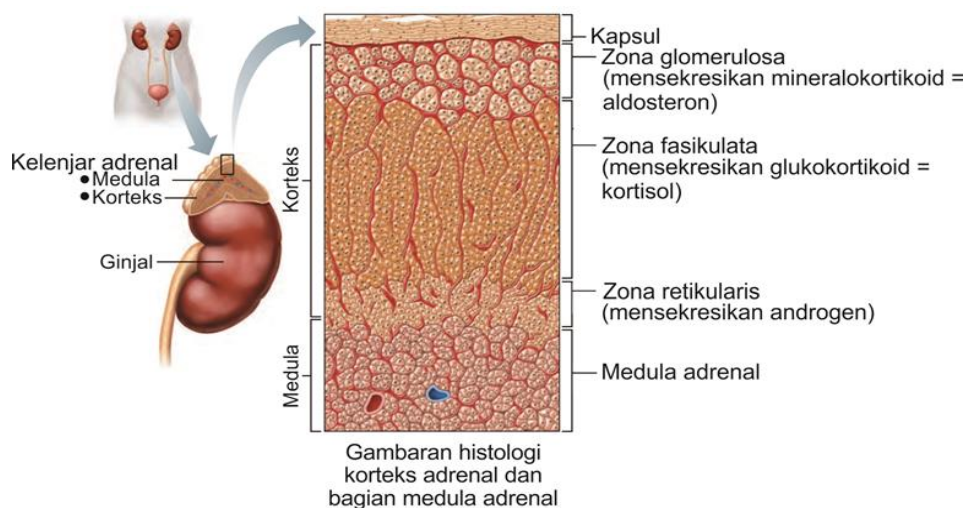
Gambar 10. Letak kelenjar adrenal

Kelenjar adrenal seperti halnya kelenjar tiroid, yaitu banyak mengandung pembuluh darah. Kedua bagian ini, medula dan korteks tidak memiliki hubungan fisiologis. Medula adrenal dibawa kontrol saraf, sedangkan korteks adrenal dibawa kontrol ACTH (juga disebut kortikotropin), yaitu suatu hormon hipofisis anterior. Semua jenis stres meliputi emosi dan trauma fisik memicu hipotalamus untuk merangsang kelenjar adrenal (gambar 11).

Gambar 11. Kelenjar adrenal. Baik medula dan korteks adrenal berada dibawah kontrol hipotalamus ketika mereka membantu kita dalam merespon stres. Kiri: Medula adrenal merespon secara cepat terhadap stres namun untuk jangka pendek. Kanan: Korteks adrenal merespon secara lambat terhadap stres namun untuk jangka panjang.

Adrenocorticotropic hormone (ACTH) diperlukan untuk mempertahankan aktivitas sekrestori dari korteks adrenal, yang mana dapat mengalami atropi secara cepat tanpa hormon ini. *Corticotropin-releasing hormone* (CRH) dilepaskan dari hipotalamus merangsang hipofisis anterior untuk mensekreaikan ACTH. Zona fasikulata sangat sensitif terhadap ACTH, dan dia merespon dengan meningkatkan sekresi kortisol. Keduanya ACTH dan kortisol menghambat sekresi CRH dari hipotalamus melalui umpan balik negatif. ACTH juga merangsang sekresi aldosteron.

Struktur Kelenjar Adrenal

Korteks adrenal manusia terdiri dari tiga lapisan histologi yang berbeda (gambar 11):

- Zona glomerulosa pada bagian terluar, yang mensintesis hormon mineralokortikoid, utamanya aldosteron. Disebut mineralokortikoid karena mereka mempengaruhi homeostasis mineral.
- Zona fasikulata yang menghasilkan hormon glukortikoid, yaitu kortisol. Dinamakan demikian karena mempengruhi homeostasis glukosa.
- Zona retikularis pada bagian dalam yang menghasilkan hormon seks pria (androgen) utamanya dehydroepiandroeterone (DHEA) dan androstenedion.

Gambar 11. Histologi korteks adrenal dan bagian medula adrenal

Hormon korteks adrenal semuanya memiliki struktur yang mirip, yang mengandung inti steroid, yaitu derivat lipid dari kolesterol. Karena kormon ini larut lipid, mereka tidak disimpan dalam sel kelenjar adrenal tetapi berdifusi dari sel ketika mereka disintesis. Hormon kortikal adrenal diangkut ke dalam darah dalam kombinasi dengan protein plasma spesifik, mereka dimetabolisme di hati dan diekskresikan dalam empedu dan urin. Hormon korteks adrenal terikat ke reseptor nuklear dan merangsang sintesis protein spesifik yang bertanggung jawab untuk menghasilkan respon sel.

Untuk lebih memahami ketiga hormon yang disekresikan oleh korteks adrenal, maka akan dijelaskan berikut ini.

Mineralokortikoid

Aldosteron adalah mineralokortikoid utama. Dia mengatur homeostasis dari dua ion mineral utama yaitu ion natrium (Na+) dan kalium (K+), dan juga membantu mengatur tekanan dan volume darah. Aldosteron juga meningkatkan ekskresi H+ di urin, ini akan melepaskan asam dari tubuh yang dapat membantu mencegah asidosis (pH darah dibawah 7,35). Sekresi aldosteron dikontrol oleh jalur renin-angiotensin-aldosteron (RAA).

Glukortikoid

Glukortikoid membantu metabolisme dan resistensi terhadap stres, meliputi kortisol yang juga biasa disebut hidrokortison, kortikosteron, kortikosteron dan kortison. Dari ketiga hormon yang disekresikan oleh zona fasikulata, kortisol adalah yang paling banyak, menyumbang sekitar 95% aktivitas glukokortikoid.

Glukortikoid memiliki efek berikut:

- Pemecahan protein.
- Pembentukan glukosa.
- Lipolisis, yaitu pemecahan trigliserida dan pelepasan asam lemak dari jaringan adiposa ke dalam darah.
- Resistensi terhadap stres.
- Efek antiinflamasi.
- Penekanan respon imun.
  Glukortikoid sintetik sering digunakan untuk menekan respon imun pada individu yang mengalami penyakit autoimun dan yang menerima transplantasi organ.
- Glukortikoid juga diperlukan untuk pematangan jaringan, seperti pada paru fetus.

Pemahaman Klinis

Penghentian tiba-tiba dari terapi kortikosteroid dapat menyebabkan gejala penurunan aktivitas sekretori dari korteks adrenal. Ini terjadi karena obat-obat kortikosteroid menekan pelepasan ACTH oleh hipofisis anterior sehingga produksi glukortikoid alami menurun dan menyebabkan korteks adrenal menjadi atropi. Oleh karena itu penghentian kortikosteroid jangka panjang harus ditapering. Selama pengaturan dosis, dosis harus diturunkan secara bertahap, sampai akhirnya dihentikan, sehingga aktivitas dari korteks adrenal pasien tetap normal.

Androgen adrenal

Korteks juga mensekresikan sejumlah kecil androgen pada pria dan wanita. Andogen adalah istilah umum untuk hormon steroid yang menyebabkan perkembangan karakteristik seks sekunder pada pria. Sbagian besar androgen disekresikan oleh sistem reproduksi. Androgen utama yang disekresikan oleh kelenjar adrenal adalah dehydroepiandroeterone

(DHEA). Androgen disekresikan oleh zona retikularis dan diubah oleh jaringan perifer menjadi androgen testosteron yang poten. Setelah masa pubertas pada pria androgen testosteron dilepaskan dalam jumlah yang besar oleh testis. Pada pria, umumnya jumlah androgen yang disekresikan oleh kelenjar adrenal adalah sedikit sehingga tidak memberikan efek yang berarti. Namun pada wanita androgen adrenal memainkan peran penting. Mereka membangkitkan libido (dorongan seks) dan androgen diubah menjadi estrogen (hormon steroid wanita) oleh jaringan tubuh lainnya. Setelah meopause ketika sekresi estrogen oleh ovarium berhenti, semua estrogen wanita berasal dari androgen adrenal. Androgen adrenal juga menstimulasi perumbuhan rambut ketiak dan pubis pada pria dan wanita. Walaupun kontrol sekresi androgen adrenal belum sepenuhnya dimengerti, tapi hormon utama yang merangsang sekresinya adalah ACTH.

Medula adrenal ditemukan di bawah korteks, pada bagian tengah kelenjar, mengandung sel kromafin yang berfungsi sebagai sel pascaganglion dari sistem saraf simpatis, utamanya mensekresikan epinefrin (sekitar 80% dari sekresi) dan epinefrin dan dopamin dengan kadar yang kecil ke dalam aliran darah. Produk sekretori dari medula adrenal adalah neurohormon.

Efek epinefrin dan norepinefrin meliputi :

1. Penurunan aliran darah ke visera dan kulit
2. Penigkatan aliran darah ke otot rangka, paru-paru, dan sistem saraf
3. Konversi glikogen menjadi glukosa untuk menaikkan kadar glukosa darah, dan
4. Peningkatan laju respirasi seluler.

Epinefrin dan norepinefrin sangat penting dalam kondisi stress jangka pendek. Epinefrin dan norepinefrin bergabung engan reseptor adrenergik, yaitu reseptor yang terikat di memnran sel target. Mereka dikelompokkan sebagai reseptor α dan β adrenergik, dan setiap kelompok ini memiliki sub kelas lagi yang mempengaruhi jaringan target secara berbeda.

Sekresi hormon medula adrenal mempersiapkan individu untuk aktifitas fisik dan komponen utama dari respon *fight or flight*. Pelepasan hormon medula adrenal utamanya terjadi dalam respon terhadap stimulasi neuron simpatis karena medula adrenal bagian khusus dari sistem saraf otonom. Beberapa kondisi seperti emosi, jejas, stres, latihan, dan kadar glukosa rendah menyebabkan pelepasan neuropeptida medula adrenal.

Ovarium dan Testis

Gonad adalah organ yang menghasilkan gamet, sperma pada pria, dan osit pada wanita. Selain sebagai fungsi reproduksi, gonad juga mensekresikan hormon. Ovarium mensekresikan beberapa hormon steroid meliputi dua estrogen (estradiol dan estron) dan progesteron. Hormon seks wanita bersama dengan FSH dan LH dari hipofisis anterior mengatur siklus menstruasi, mempertahankan kehamilan dan mempersiapkan kelenjar mamma untuk laktasi. Hormon ini juga menyebabkan pembesaran payudara dan pelebaran

pinggul pada masa pubertas, dan membantu menjaga karakteristik seks sekunder wanita. Ovarium juga menghasilkan inhibin, suatu hormon protein yang menghambat sekresi FSH. Selama kehamilan ovarium dan plasenta menghasilkan hormon peptida yang disebut Relaxin (RLX) yang meningkatkan fleksibilitas dari simfibis pubis selama kehamilan dan membantu melebarkan serviks uterin selama persalinan. Aksi ini membantu keluarnya bayi dengan mudah karena terjadi pelebaran jalan lahir.

Gonad laki-laki, testis, kelenjar oval yang terletak di skrotum. Hormon utama yang dihasilkan dan disekresi oleh testis adalah testosteron, yaitu androgen atau hormon seks pria. Testosteron merangsang testis sebelum kelahiran, mengatur produksi sperma, dan merangsang perkembangan dan pemeliharaan karakteristik seks sekunder pria, seperti pertumbuhan janggut dan pendalaman suara. Testis juga memproduksi inhibin, yang menghambat sekresi FSH.

Tabel 4.
Hormon yang diproduksi oleh testis dan ovarium dan aksi utamanya.

Hormon Organ Reproduksi			
Hormon	**Struktur**	**Jaringan Target**	**Respon**
Testis			
Testosteron	Steroid	Sebagian besar sel	Membantu spermatogenesis, perkembangan genital, memelihara fungsi organ reproduksi, karakteristik seks sekunder, dan perilaku seksual
Inhibin	Polipeptida	Kelenjar hipofisis anterior	Menghambat sekresi FSH
Ovarium			
Estrogen	Steroid	Sebagian besar sel	Membantu perkembangan dan fungsi uterus dan kelenjar payudara untuk laktasi, memelihara kehamilan pematangan genital, karakteristik seks sekunder, dan siklus menstruasi
Progesteron	Steroid	Sebagian besar sel	
Inhibin	Polipeptida	Kelenjar hipofisis anterior	Menghambat sekresi FSH dari hipofisis anterior
Ralaxin	Polipeptida	Sel jaringan ikat	Meningkatkan fleksibilitas jaringan ikat di area pelvis, khususnya simfisis pubis selama kehamilan, membantu mendilatasi

Hormon Organ Reproduksi			
Hormon	**Struktur**	**Jaringan Target**	**Respon**
Testis			
			serviks uterus selama persalinan dan melahirkan

KONTROL SEKRESI OLEH HIPOFISIS POSTERIOR

Oksitosin

Selama dan setelah melahirkan bayi, oksitosin mempengaruhi dua jaringan target: uterus ibu dan payudara. Selama kelahiran, peregangan serviks uterus merangsang pelepasan oksitosin dalam jumlah besar yang pada gilirannya meningkatkan kontraksi sel otot polos di dinding uterus yang berpuncak pada kelahiran bayi (lihat Gambar 1.4). Setelah melahirkan, oksitosin merangsang pengeluaran ASI dari kelenjar susu dalam merespon rangsangan mekanik dari bayi menyusu, dimana stimulasi puting susu oleh bayi menyusu menyebabkan pelepasan prolaktin (PL), yang, pada gilirannya, menyebabkan kontraksi kelenjar susu dari payudara, memaksa ASI ke dalam saluran ASI, diisap dan diminum oleh bayi menyusu.

Tidak seperti hormon lainnya, sekresi oksitosin dikontrol oleh mekanisme umpan balik positif. Misalnya, semakin besar rangsangan pada puting oleh bayi menyusu, nakan semakin banyak OT dilepaskan sehingga lebih banyak ASI yang dihasilkan untuk bayi. Ketika menyusui berhenti, produksi OT juga berhenti.

Fungsi oksitosin pada pria dan wanita tidak hamil tidak jelas. Percobaan pada binatang telah menunjukkan bahwa oksitosin memiliki aksi dalam otak yang menciptakan perilaku kasih sayang orang tua terhadap bayinya.

Hormon antidiuretik/antidiuretic hormone (ADH)]

Hormon antidiuretik/antidiuretic hormone (ADH)] sesuai dengan namanya karena hormon ini mencegah pengeluaran urin dalam jumlah besar (diuresis). Selain memiliki efek antidiuretik ADH juga sebagai vasopresor, yang meyebabkan konstriksi pembuluh darah dan menaikkan tekanan darah (sehingga dinamakan vasopresin) ketika dilepaskan dalam jumlah besar. Oleh karena itu ADH dilepaskan utamanya untuk merespon satu dari dua rangsangan berikut:

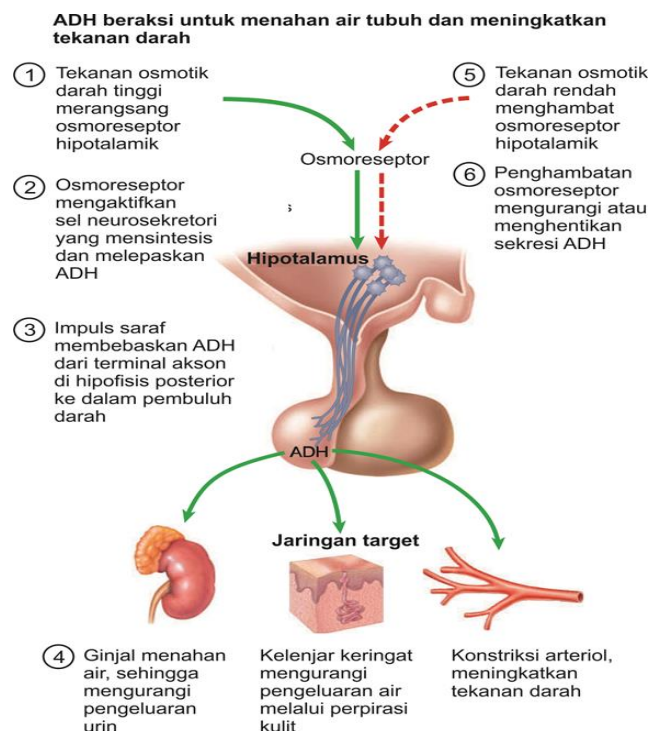
- Hiperosmolaritas plasma, dideteksi oleh osmoreseptor dalam hipotalamus
- Hopovolemia dan hipotensi, dideteksi oleh arterial dan baroreseptor atria

ADH meningkatkan penyerapan kembali air dari tubuli ginjal, dengan demikian mengurangi volume urin. Perubahan laju sekresi ADH terjadi dalam merespon perubahan osmolalitas dan volume darah. Osmolalitas larutan meningkat ketika konsentrasi zat terlarut dalam larutan meningkat. Neuron khusus disebut osmoreseptor yang bersinaps dengan neuron neorosekretori di hipotalamus. Osmoreseptor sangat peka terhadap perubahan osmolalitas darah. Ketika osmolalitas darah meningkat, frekuensi potensial aksi di

osmoreseptor meningakat, menghasilkan lebih banyak potensial aksi di akson neuron neurosekretori ADH. Sebagai akibatnya sekresi ADH meningkat. ADH merangsang tubuli ginjal untuk menahan air, yang mana megurangi osmolalitas darah dan menahan setiap peningkatan lebih lanjut dalam osmolalitas cairan tubuh. Ketika konsentrasi zat terlarut turun, osmoreseptor menghentikan depolarisasi yang menyebabkan pelepasan ADH berhenti secara efektif

Ketika darah kembali menjadi encer, ADH untuk sementara tidak dilepaskan. Ini adalah contoh dari kontrol umpan balik negatif karena efek dari hormon ini (mengencerkan darah) bertindak untuk menghentikan pelepasan hormon. Umpan balik negatif mempertahankan kondisi stabil dan homeostasis. Jumlah ADH yang disekresikan bervariasi dengan tekanan darah osmotik dan volume darah.

Rangsangan lainnya yang memicu pelepasan ADH meliputi nyeri, tekanan darah rendah, ansietas (cemas), trauma, asetilkolin, nikotin, dan obat, seperti, morfin, trankuilizer, barbiturat, dan beberapa anestesi. Ketidakmampuan tubuh untuk memproduksi ADH menyebabkan diabetes insipidus (urin encer). Kondisi ini dapat dikoreksi dengan pemberian ADH. Hal menarik yang perlu dicatat adalah alkohol menekan produksi dan pelepasan ADH. Ketika ADH tidak ada, ginjal tidak meyerap kembali air. Individu yang meminum alkohol akan lebih sering buang air kecil dan dapat menyebabkan dehidrasi. Gejalanya mulut kering, rasa haus, sakit kepala, mual, pusing yang sebagian besar disebabkan karena dehidrasi.

Obat diuretik mengantagonis efek dari ADH dan mengeluarkan air dari tubuh. Diuretik digunakan untuk terapi beberapa kasus hipertensi dan udem (retensi air di jaringan), biasanya pada gagal jantung kongetif.

Gambar 12. Pengaturan sekresi dan aksi hormon antidiuretik (ADH)

Kelenjar Pineal

Kelenjar pineal adalah struktur berbentuk biji pinus kecil ditemukan antara kedua belahan otak yang melekat pada bagian atas talamus di dekat bagian atas ventrikel ketiga. Kelenjar pineal menghasilkan hormon melatonin (terutama pada malam hari), yang disekresikan langsung ke cairan cerebrospinal. Melatonin memiliki sejumlah efek pada tubuh dan penelitian terus dilakukan pada hormon ini. Hormon ini menghambat sekresi hormon gonadotropin LH dan LSH dari kelenjar hipofisis anterior, sehingga menghambat fungsi sistem reproduksi. Melatonin terlibat dalam siklus bangun-tidur kita sehari-hari; normalnya kita bertambah mengantuk di malam hari ketika kadar melatonin meningkat dan bangun kembali di siang hari dan kadar melatonin menjadi rendah. Siklus harian 24 jam seperti ini disebut ritme sirkadian. Ritme sirkadian dikendalikan oleh mekanisme waktu internal yang disebut jam biologis. Cahaya terang menghambat sekresi melatonin. Impuls saraf yang berasal dari retina mata mengirimkan informasi cahaya untuk kelenjar pineal. Dalam cahaya gelap atau redup, impuls saraf dari mata menurun dan sekresi melatonin meningkat. Melatonin juga memainkan peran dalam masa pubertas dan pada siklus reproduksi wanita.

Eikosanoid

Dua golongan dari molekul eikosanoid, yaitu prostaglandin (PG) dan leukotrien (LTs), ditemukan di hampir semua sel tubuh kecuali sel darah merah, dimana mereka bertindak sebagai hormon lokal (parakrin atau autokrin) dalam merespon rangsangan kimia atau mekanis. Keduanya disintesis dari asam lemak 20 karbon yang disebut asam arakidonat dari membran molekul fosfolipid. Dari asam arakidonat, melalui reaksi enzimatik yang berbeda menghasilkan PG atau LTs. Tromboksan (TX) adalah PG dimodifikasi yang menyempitkan pembuluh darah dan meningkatkan aktivasi trombosit.

KELAINAN, GEJALA, DAN PRINSIP TERAPI

Penyakit Graves

Penyakit Graves (goiter diffusa toksik), bentuk paling umum dari hipertiroid yang nyata, adalah suatu kondisi autoimun dimana autoantibodi diarahkan secara langsung terhadap reseptor thyroid-stimulating hormone (TSH). Akibatnya, kelenjar tiroid secara tidak tepat dirangsang dengan terbentuknya pembesaran kelenjar dan peningkatan produksi hormon tiroid. Faktor risiko untuk penyakit Graves termasuk riwayat keluarga hipertiroidisme atau berbagai gangguan autoimun lainnya, asupan iodin tinggi, stres, penggunaan steroid seks, dan merokok. Penyakit ini klasik ditandai dengan tritunggal: gondok, exophthalmos, dan myxedema pratibial.

a. *Gejala*
   - Hiperaktif
   - Kelelahan
   - Palpitasi, tremor, intolerasnsi panas, cemas
   - Dispnea saat aktivitas, nyeri dada, dan udem

- Nyeri belakang
- Peningkatan risiko fraktur
- Penurunan berat badan yang cepat
- Lekas marah
- Berkeringat berlebihan

b. Prinsip Terapi

Terapi meliputi pengurangan gejala dan koreksi terhadap kondisi thyrotoxic. hiperfungsi Adrenergik diterapi dengan memblok reseptor beta-adrenergik. Mengoreksi kadar hormon tiroid yang tinggi dapat dicapai dengan obat-obat antitiroid yang menghambat sintesis hormon tiroid atau dengan pengobatan dengan iodin radioaktif. Terpi juga dapat berupa pengangkatan seluruh atau sebagian dari kelenjar tiroid

1) Terapi farmakologi
    - Propiltiourasil (PTU)
    - Metimazol
    - Propanolol
    - Atenolol
2) Terapi non-farmakologi

RINGKASAN

- Sistem endokrin terdiri dari sel, jaringan, dan organ yang mensekresikan hormon.
- Fungsi

  Sistem endokrin memiliki beberapa fungsi sebagaimana dia mempengaruhi berbagai sel dan jaringan di tubuh. Secara ringkas dari fungsi sistem endokrin yaitu dia mengkoordinasikan fungsi tubuh seperti:
    - Pertumbuhan
    - Perkembangan
    - Reproduksi
    - Metabolisme
    - Homeostasis
- Sistem endokrin juga membantu mengatur aktivitas sistem imun dan proses apoptosis.
- Kelenjar eksokrin memiliki duktus, kelenjar endokrin tidak memiliki duktus
- Hormon adalah utusan kimia yang dibawa oleh darah ke seluruh tubuh dimana mereka memodifikasi fungsi seluler dari sel target.
- Kelenjar endokrin utama adalah kelenjar adrenal, gonad, kelenjar pineal, kelenjar hipofisis, timus, dan kelenjar tiroid. Selain itu, fungsi hipotalamus seperti kelenjar endokrin dalam beberapa cara.
- Hormon dikelompokkan secara kimia, baik sebagai hormon steroid atau nonsteroid.
- Produksi sebagian besar hormon dikontrol oleh mekanisme umpan balik negatif
- Mekanisme umpan balik dari produksi hormon bekerja satu dari tiga cara: hormonal, neural, dan humoral.

- Gangguan endokrin berhubungan dengan hiposekresi atau hipersekresi berat dari berbagai hormon. Hiposekresi mungkin hasil dari cedera.
- Hipersekresi kadang-kadang disebabkan oleh tumor.
- TSH merangsang sekresi tiroksin (T4) dan triodotironin (T3) yang meningkatkan metabolisme seluler, sintesis protein, dan aktivitas neural.
- Iodin adalah komponen penting dari molekul T4 dan T3.
- Hipersekresi hormon tiroid menyebabkan penyakit Graves. Defisiensi iodin menyebabkan simple goiter.
- Hiposkresi hormon tiroid pada bayi dan anak-anak menyebabkan kretinisme, pada orang dewasa menyebabkan miksedema.
- Hormon paratiroid meningkatkan kadar ca2+ darah dengan meningkatkan pelepasan ca2+ dari tulang, absorpsi ca2+ dari usus, tahanan ca2+ oleh ginjal.
- PTH juga mengaktifkan vitamin D, yang membantu merangsang absorpsi kalsium oleh usus.
- Sekresi paratiroid dikontrol oleh kadar ca2+ darah.
- PTH dan kalsitonin bekerja secara antagonis untuk mengatur kadar ca2+ darah.
- Hiposekresi PTH menyebabkan tetani, yang dapat menyebabkan kematian. Hiposekresi menyababkan lelah, kerusakan tulang yang dapat fraktur secara spontan.
- Kelenjar adrenal terletak superior terhadap setiap ginjal. Setiap kelenjar terdiri dari dua bagian: bagian dalam medula adrenal dan korteks adrenal bagian luar.
- Medula adrenal mensekresikan epinefrin dan norepinefrin yang menjaga tubuh untuk merespon terhadap situasi darurat. Keduanya meningkatkan denyut jantung, sirkulasi ke sistem saraf dan muskuler, dan kadar glukosa dalam darah.
- Korteks adrenal mensekresikan sejumlah hormon yang kelompokkan sebagai mineralokortikoid, glukortikoid, dan androgen.
- Aldosteron adalah mineralokortikoid yang paling penting. Dia membantu untuk mengatur konsentrasi elektrolit dalam darah, khususnya ion natrium dan kalium, yang meningkatkan tekanan darah.
- Kortisol adalah glukortikoid yang paling penting. Dia mendorong pembentukan glukosa dari sumber nonkarbohidrat dan menghambat inflamasi. Sekresinya diatur oleh ACTH.
- Kortisol terlibat dalam respon terhadap stres kronik.
- Sejumlah kecil androgen disekresikan. Mereka memiliki efek kecil pada pria dewasa, tapi berperan terhadap dorongan seks pada pria dewasa.
- Hiposekresi kortisol menyebabkan penyakit Addison.
- Hipersekresi kortisol menyebabkan sindrom Cushing.
- Gonad adalah kelenjar kelamin. Ovarium pada wanita dan testis pada pria. Mereka mensekresikan hormon kelamin, selain itu memproduksi sel kelamin. Sekresi hormon ini dikontrol oleh FSH dan LH.
- Estrogen disekresikan oleh folikel ovarium dan mereka merangsang perkembangan organ reproduksi wanita dan karakteristik kelamin sekunder. Estrogen juga membantu menyiapkan uterus untuk preembrio dan membantu mempertahankan kehamilan.

- Progesteron disekresikan utamanya oleh korpus luteum dari ovarium setelah ovulasi. Dia menyiapkan uterus preembrio, mempertahankan kehamilan, dan menyiapkan kelenjar susu untuk produkasi ASI.
- Testis mensekresikan testosteron, hormon seks pria yang merangsang perkembangan orgab reproduksi pria dan karakteristik kelamin sekunder.

TES 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Fungsi dari hormon okstosin adalah…..
   A. Tropik untuk korteks adrenal
   B. Merangsang sekresi hormon tiroid
   C. Antidiuresis
   D. Merangsang produksi testosteron
   E. Merangsang kontraksi uterus selama persalinan

2) Fungsi dari prolactin adalah…..
   A. Tropik untuk korteks adrenal
   B. Merangsang sekresi hormon tiroid
   C. Merangsang kontraksi uterus selama persalinan
   D. Antidiuresis
   E. Merangsang produksi testosteron

3) Berikut yang dihasilkan oleh hipofisis posterior adalah……
   A. Oksitosin dan tiroid
   B. Oksitosin dan vasopressin
   C. Oksitosin dan gonad
   D. Gonad dan tiroid
   E. Gonad dan vasopressin

4) Di dalam pankreas memproduksi ?
   A. Insulin
   B. Glucagon
   C. Enzim pencernaan
   D. Kedua a dan b adalah benar
   E. Semua ini adalahbenar

5) Yang bukan merupakan hormon yang dikeluarkan oleh korteks adrenal adalah…..
   A. Aldosterone
   B. Androgen

C. Epinefrin
D. Kortisol
E. A dan B adalah benar

6) Jika sekresi aldosteron meningkat dapat menyebabkan…..
A. Kadar kalium darah meningkat
B. Kadar hidrogen darah meningkat
C. Asidosis
D. Kadar natrium darah menurun
E. Volume darah meningkat

7) Kondisi apakah yang terjadi jika kadar hormon paratiroid meningkat…..
A. Aktivitas osteoklas meningkat
B. Penyerapan kalsuim dari usus kecil terhambat
C. Reabsorpsi kalsium dari urin terhambat
D. Bentuk vitamin D kurang aktif pada ginjal
E. Semuanya adalah benar

8) Hormon berikut, mana yang memiliki fungsi tidak jelas pada pria ?
A. FSH
B. Oksitosin
C. ADH
D. GRH
E. Aldosteron

9) Yang mengontrol sekresi ADH adalah….
A. Osmolaritas darah
B. Perubahan osmolaritas darah
C. Pelepasan hormon dari hipotalamus
D. Peningkatan tekanan darah
E. ACTH

10) Tremor, nerves (gugup), dan peningkatan laju jantung, merupakan gejala dari....
A. Peningkatan aktivitas sistem saraf simpatik
B. Sekresi epinefrin yang berlebihan dari medula adrenal
C. Hiportiroid
D. Hipertiroid
E. Semua benar

11) Yang bukan merupakan gejala dari penyakit Cushing...
A. Tekanan darah tinggi

B. Berkurangnya massa tulang
C. Menurunnya fungsi imun
D. Goiter
E. Hiperglikemi (peningkatan glukosa darah)

12) Berikut ini adalah kelenjar endokrin dan pasangan hormonnya, pilihlah pasangan yang sesuai:
A. Ovarium → androgen
B. Timus → insulin
C. Ginjal → aldosteron
D. Jaringan adiposa → leptin
E. Payudara → ADH

13) Yang mana dari hormon berikut yang tidak dihasilkan lobus anterior kelenjar hipofisis...
A. TSH
B. ADH
C. Prolaktin
D. LH
E. FSH

Topik 2
Hormon dari Jaringan dan Organ Endokrin Lainnya

Hai teman-teman, mungkin kalian telah mempelajari tentang hipofisis anterior dan posterior , dimana hipofisis anterior dan posterior menghasilkan bermacam-macam hormon yang mengatur kegiatan kelenjar lainnya sehingga hipofisis disebut sebagai master of gland.

Namun tahukah kalian ada hormon yang disekresikan oleh jaringan atau organ lainnya yang mengandung sel endokrin, sehingga hormon tersebut memiliki fungsi yang sama dengan kelenjar endokrin walaupun mereka tidak berasal dari hipofisis. Salah satu contoh hormon yang dihasilkan oleh jaringan lainnya yakni gastrin yang berfungsi mensekresikan getah gastrik dalam lambung

Dalam topik 2 ini akan di bahas satu persatu hormon-hormon apa saja yang disekresikan oleh jaringan atau organ lainnya yang mengandung sel endokrin, dan bagaimana mekanisme kerja hormon.

Seperti yang Anda pelajari di awal bab, sel-sel di organ selain yang biasanya diklasifikasikan sebagai kelenjar endokrin memiliki fungsi endokrin dan mensekresikan hormon. Sebelumnya Anda telah belajar beberapa kelenjar dan organ endokrin, diantaranya hipotalamus, ovarium, dan testis. Tabel 5 memberikan gambaran dari jaringan dan organ serta hormon yang disekresikannya dan aksi mereka.

Tabel 5.
Hormon yang dihasilkan oleh organ lainnya selain kelenjar endokrin utama

Hormon	Prinsip Kerja
SALURAN GASTROINTESTINAL	
Gastrin	Meningkatkan sekresi getah gastrik, meningkatkan gerakan lambung
Peptida insulinotropik bergantung insulin (GIP)	Merangsang pelepasan insulin oleh sel [illegible] pankreas
Sekretin	Merangsang sekresi getah pankreas dan empedu
Kolesistokinin [*cholecystokinin* (CCK)]	Merangsang sekresi getah pankreas;
	Mengatur pelepasan empedu dari kantong empedu;
	Menyebabkan perasaan kenyang setelah makan.

Hormon	Prinsip Kerja
PLASENTA	
Human chorionic gonadotropin (hCG)	Merangsang korpus luteum di ovarium untuk terus memproduksi estrogen dan progesteron untuk mempertahankan kehamilan
Estrogen dan progesteron	Mempertahankan kehamilan; membantu menyiapkan kelenjar payudara untuk mensekresikan ASI.
Human chorionic somatomammotrpin (hCS)	Merangsang kelenjar payudara untuk laktasi
GINJAL	
Renin	Bagian dari rangkaian reaksi yang meningkatkan tekanan darah dengan menyebabkan vasokonstriksi dan sekresi aldosteron.
Eritropoietin (EPO)	Meningkatkan laju pembentukan sel darah merah.
Kalsitrol* (bentuk aktif vitamin D)	Membantu absorpsi kalsium dan fosfat
JANTUNG	
Peptida natriuretik atria [*Atrial natriuretic peptide* (ANP)]	Menurunkan tekanan darah.
JARINGAN ADIPOSA	
Leptin	Menekan nafsu makan, dapat meningkatkan aktivitas FSH dan LH

Leptin

Leptin adalah hormon protein yang diproduksi oleh jaringan adiposa. Leptin bekerja pada hipotalamus, dimana ia memberi sinyal kenyang (bahwa individu telah cukup untuk makan). Aneh untuk mengatakan, bahwa darah individu dengan obesitas mungkin kaya akan leptin. Hal ini dimungkinkan bahwa leptin yang mereka hasilkan tidak efektif karena mutasi genetik, atau sel hipotalamus mereka kekurangan jumlah reseptor yang sesuai untuk leptin.

Penuaan dan Sistem Endokrin

Meskipun beberapa kelenjar endokrin menyusut seiring bertambahnya usia, kinerja mereka mungkin atau mungkin tidak dikompromikan. Produksi hormon pertumbuhan

manusia oleh hipofisis anterior menurun, yang merupakan salah satu penyebab atrofi otot hasil penuaan. Kelenjar tiroid sering menurunkan sekresi hormon tiroidnya seiring dengan usia, sehingga menyebabkan penurunan laju metabolisme, peningkatan lemak tubuh, dan hipotiroidisme, yang terlihat lebih sering pada orang yang lebih tua. Karena kurangnya umpan balik negatif (tingkat yang lebih rendah dari hormon tiroid), maka kadar dari TSH meningkat dengan usia.

Dengan penuaan, kadar PTH darah meningkat, mungkin disebabkabkarena tidak memadainya asupan makanan yang mengandung kalsium. Dalam sebuah penelitian terhadap wanita yang lebih tua yang meminum 2.400 mg / hari suplemen kalsium, kadar PTH darah ditemukan sama rendahnya dengan wanita yang lebih muda. Keduanya kadar calcitriol dan kalsitonin lebih rendah pada orang yang lebih tua. Secara bersama, kenaikan PTH dan penurunan kadar kalsitonin meningkatkan penurunan massa tulang yang mengarah ke osteoporosis dan peningkatan risiko patah tulang.

Kelenjar adrenal mengandung semakin banyak jaringan fibrosa dan menghasilkan kortisol dan aldosteron yang kurang pada usia lanjut. Namun, produksi epinefrin dan norepinefrin tetap normal. Pankreas melepaskan insulin lebih lambat dengan pertambahan usia, dan berkurangnya sensitivitas reseptor untuk glukosa. Akibatnya, kadar glukosa darah pada orang tua meningkat lebih cepat dan kembali normal lebih lambat dari pada individu yang lebih muda.

Timus adalah terbesar pada masa bayi. Setelah pubertas, ukurannya mulai menurun, dan jaringan timus diganti oleh jaringan ikat adiposa dan areolar. Pada orang dewasa yang lebih tua, timus menjadi atrofi (telah berhenti berkembang) secara signifikan. Namun, masih menghasilkan sel T baru untuk respon imun.

Pada usia tua ovarium mengalami penurunan ukuran, dan tidak lagi merespon terhadap gonadotropin. Resultan penurunan output estrogen menyebabkan kondisi seperti osteoporosis, kolesterol darah tinggi, dan aterosklerosis. Kadar FSH dan LH tinggi karena kurangnya penghambatan umpan balik negatif dari estrogen. Meskipun produksi testosteron oleh testis menurun dengan usia, efek biasanya tidak tampak sampai usia sangat tua; dan banyak pria tua masih bisa memproduksi sperma aktif dalam jumlah normal, meskipun banyak sperma yang abnormal secara morfologi dan penurunan motilitas sperma.

Menopause

Adalah kondisi ketika menstruasi berhenti sepenuhnya, tetapi ada beberapa tahun yang mengarah ke sana ketika fungsi ovarium melambat. Penurunan kadar estrogen dapat menyebabkan banyak perubahan fisiologis, termasuk:

- hot flushes (gejolak panas)
- palpitasi (berdebar)
- lekas marah
- kelelahan
- kecemasan/kegelisahan
- kehilangan konsentrasi

- pertumbuhan rambut yang berlebihan (hirsutisime)
- melemahnya tulang (osteoporosis).

Terapi penggantian hormon [hormone replacement therapy (HRT)] yang diberikan untuk wanita menopause telah terbukti membantu wanita untuk melewati waktu yang menydihkan ini.

KELAINAN, GEJALA, DAN PRINSIP TERAPI

Diabetes mellitus (DM) tipe 2

Diabetes mellitus (DM) adalah kelompok penyakit metabolik yang ditandai dengan hiperglikemia yang dihasilkan dari gangguan pada sekresi insulin, aksi insulin, atau keduanya. Hiperglikemia kronis dari diabetes berhubungan dengan kerusakan jangka panjang, disfungsi, dan kegagalan berbagai organ, terutama mata, ginjal, saraf, jantung, dan pembuluh darah.

1. Gejala
   - Poliuria
   - Polidipsia
   - Polifagia
   - Penurunan berat badan
   - Penglihatan kabur
   - Penurunan pertumbuhan dan kerentanan terhadap infeksi
   - tertentu mungkin juga menyertai hiperglikemia kronis.
   - Kondisi Akut, konsekuensi yang mengancam jiwa dari diabetes
   - adalah hiperglikemia dengan ketoasidosis atau sindrom
   - hiperosmolar nonketotik.
2. Prinsip terapi
   - Mengoptimalkan kadar glukosa plasma berada dalam kisaran normal
   - Mencegah atau meminimalkan kemungkinan terjadinya komplikasi diabetes.
     a) Terapi farmakologi
        - Insulin
        - Obat hipoglikemik oral (OHO): metformin, glimiperid,
        - glikuidon, pioglitazon
        - Kombinasi keduanya (insulin + OHO)

   b) Terapi non-farmakologi

   Modifikasi gaya hidup dan pola makan: mengurangi stres, olahraga secara teratur (3-5 kali per minggu, intensitas ringan sampai sedang selama 30 – 60 menit/ 5 x 30 menit per minnggu), berupa aerobik (jalan, joging, bersepeda).

RINGKASAN

- Kelenjar pineal terletak dekat langit-langit ventrikel ketiga otak. Dia mensekresikan melatonin, yang tampaknya menyebabkan penghambatan sekresi FSH dan LH oleh lobus anterior kelenjar hipofisis. Kelenjar pineal tampaknya juga terlibat dalam bioritme.
- Timus terletak di rongga dada superior terhadap jantung. Dia mensekresikan timosin, yang terlibat dalam pematangan sel darah putih yang disebut limfosit.
- Timosin juga tampaknya memiliki efek anti-penuaan.
- Jaringan juga menghasilkan hormon. Jaringan adiposa menghasilkan leptin yang beraksi pada hipotalamus dan beberapa jaringan menghasilkan faktor pertumbuhan. Jaringan juga menghasilkan prostaglandin yang beraksi secara lokal. Prostaglandin tidak disimpan, mereka disintesis ketika dibutuhkan.

TES 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Efek dari hormon Leptin adalah...
   A. Merangsang kelenjar untuk melepaskan asam klorida (HCl)
   B. Merangsang asupan makanan
   C. Menekan nafsu makan dan meningkatkan pengeluaran energi
   D. Menghambat aktivitas serkertori
   E. Merangsang pelepasan enzim

2) Merangsang sekresi aldosteron adalah fungsi dari hormon...
   A. Gastrin
   B. Oksitosin
   C. Insulin
   D. Renin
   E. Timosin

3) Hormon Melatonin terdapat pada kelenjar...
   A. Tiroid
   B. Hipotalamus
   C. Hipofisis anterior
   D. Pineal
   E. Adrenal

4) Efek yang dihasilkan oleh hormon Gastrin adalah...
   A. Merangsang asupan makanan dan pelepasan hormon pertumbuhan

B. Merangsang sekresi asam klorida (HCl)
C. Merangsang pelepasan bikarbonat
D. Merangsang pelepasn enzim
E. Meningkatkan pelepasan glukosa

5) Merangsang pelepasan bikarbonat adalah efek dari hormon
A. Gastrin
B. Ghrelin
C. Sekretin
D. Kolesistokenin
E. Leptin

6) Hormon yang terdapat pada jantung adalah
A. Erythropoietin (EPO)
B. Osteocalcin
C. Thymulin
D. Sekretin
E. Atrial natriuretic peptide (ANP)

7) Sel sasaran hormon Kalsitonin adalah
A. Tulang
B. Uterus
C. Sebagian besar sel
D. Tubulus ginjal
E. Otak

8) Yang termasuk hormon jaringan Adiposa adalah
A. Sekretin
B. Octecalsin
C. Leptin
D. Gastrin
E. Thymulin

9) Nama lain dari hormon Cholecalciferol adalah
A. EPO
B. Provitamin D3
C. CCK
D. GIP
E. ANP

Kunci Jawaban Tes

Tes 1

1) E
2) C
3) B
4) E
5) C
6) E
7) E
8) B
9) B
10) E
11) D
12) D
13) B

Tes 2

1) C
2) D
3) D
4) B
5) C
6) E
7) A
8) C
9) B

Daftar Pustaka

Gerard Tortora, 2014, Principles of Anatomy and Physiology,.

Sanders Tina, Scanlon Valerie, 2006, Essentials of Anatomy and Physiology,.

Saladin, 2003, Anatomy and Physiology The Unity of Form and Function.

Rizzo C Donald, 2015, Fundamentals of Anatomy and Physiology.

Marieb Elaine Nicpon, 2013, Human Anatomy and Physiology

Sherwood, 2014: Human, Physiology - From Cells to Systems

Seeley's, 2014, Anatomy & Physiology, Ed. Ke-10.

Gunstream Stanley, 2015, Anatomy and Physiology with Integrated Study.

Carson, The Anatomy and Physiology Learning System (4E).

Rodney Rhoades, David R Bell, 2013, Medical physiology principles for clinical medicine.

Sue Longenbaker, 2010,Understanding Human Anatomy and Physiology Ed. Ke-7.

BAB V
SISTEM PENCERNAAN DAN PERNAFASAN

Raimundus Chaliks, S.Si. M.Sc. Apt.

PENDAHULUAN

Hampir semua orang suka makan ,dan kita semua harus makan untuk tetap hidup. Sepanjang sejarah, makanan dan minuman telah di sediakan tidak hanya sebagai santapan tetapi juga dasar bagi banyak pertemuan sosial. Meskipun bukan sesuatu yang sering kita pikirkan saat menikmati pizza dan minuman favorit, tubuh memiliki sistem pencernaan yang menakjubkan yang mencakup kontrol kualitas dan metode pembuangan sisa (sampah) sendiri. Setiap sel dalam tubuh kita membutuhkan makanan, namun sel-sel tidak bisa meninggalkan tempat mereka dalam tubuh dan berjalan ke sumber makanan. Oleh karena itu, makanan harus diubah menjadi bentuk yang mudah digunakan dan di distribusikan dalam tubuh. Untuk melakukan hal ini, sistem pencernaan adalah sistem khusus untuk menelan makanan, mendorong melalui saluran pencernaan, mencernanya ,dan menyerap air, elektrolit, dan nutrisi.

Selanjutnya, apa kalian masih menikmati udara yang Tuhan berikan kepada kita secara gratis dan tidak terbatas? Saya harap kita bisa mensyukurinya. Oh iya berbicara mengenai kenikmatan yang di beri Tuhan kepada kita salah-satunya udara, pasti mengingatkan kita kepada pernapasan bukan? Pasti kata “pernapasan” bagi kita semua sudah tidak asing lagi, karena kita sudah dikenalkan tentang pernapasan baik itu dibangku sekolah menengah atas, menengah pertama, sekolah dasar bahkan secara tidak langsung dari kita lahir kita sudah menjalankan proses pernapasan itu.

Kali ini kita akan merefresh kembali seberapa besar sih pengetahuan kita tentang pernapasan. Ayo, apa teman-teman bisa hidup tanpa bernapas? Semua makhluk hidup yang ada pasti butuh bernapas. Tahukah bahwa proses menghirup oksigen dan mengeluarkan karbon dioksida yang kita lakukan setiap saat itu di namakan pernapasan? Berdasarkan pengertian tersebut singkatnya pernapasan memiliki fungsi untuk memasukkan udara ke dalam paru-paru. Tahukah juga bahwa udara yang dihirup secara fisiologi akan masuk melalui hidung kemudian ke faring lalu ke laring, selanjutnya udara diteruskan ke trakea dimana trakea bercabang menjadi dua bronkus, bronkus tersebut bercabang-cabang lagi membentuk bronkiolus dan akhirnya bermuara di alveoli sebagai tempat terjadinya pertukaran gas melalui difusi. Nah bagaimana teman? Pasti kalian sudah teringat kembalikan gambaran umum dari pernapasan itu, nah untuk lebih detail mari ikuti penjelasannya dari materi ini

Pengetahuan tentang sistem respirasi kaitannya dengan farmasi sangatlah perlu. Misalnya saja terkait dengan obat-obat inhaler, bagimakah rute masuknya partikel obat, cara penggunaannya yang memrlukan instruksi khusus dengan beberapa langkah, atau

penggunaan obat-obat lainnya yang berhubungan dengan sistem pernapsan, seperti tetes hidung, obat asma, PPOM.

Uraian materi pada bab 5 ini akan dikemas dalam 2 topik, yaitu:

- Topik 1. Sistem Pencernaan
- Topik 2. Sistem Pernafasan

Topik 1
Sistem Pencernaan

Proses pencernaan melibatkan pencampuran koreografi makanan dengan getah pencernanan (digestive juice) meliputi asam kuat, garam empedu deterjen, dan enzim aktif. Tubuh kemudian memaksimalkan penyerapan nutrisi yang dicerna. Setelah zat-zat berguna ini di serap,mereka di angkut melalui system peredaran darah ke sel-sel, yang menggunakannya untuk energi atau sebagai molekul baru untuk membangun dan memelihara jaringan dan organ. Memang, sistem pencernaan adalah "makanan di atas roda" tubuh.

Pada setiap individu,system pencernaan dari mulut ke anus adalah sekitar 450 cm (hamper 15 kaki) wow…panjang bukan! Dari panjang ini, 395 cm (sekitar 13 kaki) terdiri dari usus besar dan usus kecil. Coba bayangkan 13 kaki tali dengan diameter berkisar 1-3 inci semuanya melingkar dalam perut anda dari pusar kebawah. Susunan ketat dari organ abdomen membantu menjelaskan mengapa anda merasa perlu untuk melonggarkan ikat pinggang anda setelah mengkonsumsi makanan dalam jumlah besar .

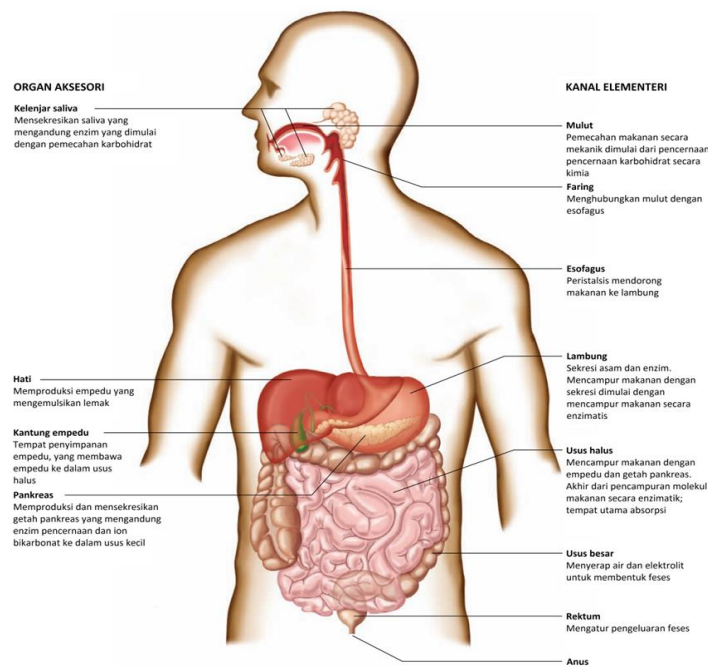
Anak-anak kagum dengan cara kerja sistem pencernaan. Mereka menikmati posisi crunching keripik kentang, kegembiraan dalam membuat "kumis" dengan susu, dan tertawa ketika perut mereka "menggeram". Sebagai orang dewasa, kita tahu bahwa sistem pencernaan yang sehat adalah penting untuk kehidupan karena mengubah makanan menjadi bahan baku yang membangun dan bahan bakar sel tubuh kita. Secara khusus, sistem pencernaan mengambil dalam makanan, mengelompokkannya menjadi molekul nutrisi,menyerap molekul ini kedalam aliran darah,dan kemudian membersihkan tubuh dari sisa (sampah).

Pencernaan adalah pemecahan makanan secara mekanik dan kimiawi menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga dapat diserap oleh sel tubuh kita. Organ gastrointestinal (saluran pencernaan) membentang dari mulut ke anus. Organ ini adalah mulut, faring, esofagus (kerongkongan), lambung, usus kecil, usus besar, dan lubang anus. Organ aksesori meliputi gigi, lidah, kelenjar saliva, hati, kantung empedu, dan pankreas.

Sistem pencernaan terdiri dari saluran pencernaan, satu tabung memanjang dari mulut ke anus, dan organ aksesori yang berhubungan, terutama kelenjar yang terletak di luar saluran pencernaan yang mensekresikan cairan di dalamnya. Makanan dipecah, sedikit demi sedikit, sampai menjadi molekul yang cukup kecil untuk diserap dan produk sisa dieliminasi. Saluran pencernaan disebut juga alimentary tract atau alimentary canal (saluran gastrointestinal), terdiri dari tabung panjang yang berkesinambungan yang membentang dari mulut ke anus. Lidah dan gigi adalah struktur aksesori yang terletak di mulut. Kelenjar ludah, hati, kantung empedu, dan pankreas bukan bagian dari saluran pencernaan dan memiliki peran dalam pencernaan. Secara teknis, istilah saluran gastrointestinal hanya mengacu pada lambung dan usus tetapi sering digunakan sebagai nama lain untuk saluran pencernaan.

Daerah saluran pencernaan meliputi berikut ini:

- Rongga mulut atau mulut dengan kelenjar saliva dan tonsil sebagai
- organ aksesori
- Faring atau tenggorokan
- Esofagus
- Lambung
- Usus kecil, terdiri dari duodenum, ileum, dan jejunum, dengan hati,
- kantung empedu, dan pancreas sebagai organ aksesori utama.
- Usus besar, terdiri dari cecum, kolon, rektum, dan kanal anal
- (lubang anus)
- Anus

Makanan mengalami tiga proses dalam tubuh, yaitu pencernaan, absorpsi, dan metabolism. Pencernaan dan arbsorpsi terjadi dalam saluran pencernaan. Setelah nutrisi diserap makan mereka tersedia bagi semu sel dalam tubuh kita dan digunakan oleh sel untuk metabolisme.

Gambar 1. Organ utama dan sistem pencernaan
(Sumber: Booth Kathryn, Wyman Terri.Anantomy, Physiology, and Pathophysiology for Allied Health Ebook-Career Education, 2007)

FUNGSI SISTEM PENCERNAAN

Fungsi utama sistem ini adalah untuk menyediakan makanan, air, dan elektrolit bagi tubuh dari nutrien yang dicerna sehingga siap diabsorpsi. Pencernaan berlansung secara mekanik dan kimia, dan meliputi proses-proses berikut:

1. Ingesti adalah masuknya makanan ke dalam mulut.
2. Pemotongan dan penggilingan makanan dilakukan secara mekanik oleh gigi. Makanan kemudian bercampur dengan saliva sebelum ditelan (menelan).
3. Peristalsis adalah gelombang kontraksi otot polos involunter yang menggerakkan makanan tertelan melalui saluran pencernaan.
4. Digesti adalah hidrolisis kimia (penguraian) molekul besar menjadi molekul kecil sehingga absorpsi dapat berlansung.
5. Absorpsi adalah pergerakan produk akhir pencernaan dari lumen saluran pencernaan ke dalam sirkulasi darah dan limfatik sehingga dapat digunakan oleh sel tubuh.
6. Egesti (defekasi) adalah proses eleminasi zat-zat sisa yang tidak tercerna, juga bakteri, dalam bentuk feses dari saluran pencernaan.

Garis besar saluran pencernaan
Dinding saluran pencernaan terdiri dari 4 lapisan atau tunika :
1. Mukosa adalah lapisan terdalam dari dinding dan sebagian besar terbuat dari dinding dan sebagian besar terbuat dari jaringan epitel yang mensekresi enzim dan mukus ke dalam dari kanal. Lapisan ini sangat aktif dalam menyerap nutrisi
2. Submukosa adalah lapisan dalam dari mukosa. Mengandung jaringan ikat longgar, pembuluh darah, kelenjar, dan saraf. Pembuluh darah di lapisan ini mengangkut nutrisi yang diserap.
3. Lapisan muskuler. Lapisan ini terletak di luar submukosa. Terbuat dari lapisan jaringan otot polos dan berkontraksi untuk menggerakkan material melalui kanal.

   Muskularis eksterna terdiri dari dua lapisan otot, **satu lapisan sirkular** dalam dan satu **lapisan longitudinal luar**. Kontraksi lapisan sirkular mengkonstriksi lumen saluran dan kontraksi lapisan longitudinal memperpendek dan memperlebar lumen saluran. Kontraksi ini mengakibatkan gelombang **peristalsis** (gambar 2) yang menggerakkan isi saluran kearah depan.
   a) Muskularis eksterna terdiri dari otot rangka di mulut, faring, dan esofagus atas, serta otot polos pada saluran selanjutnya.
   b) **Pleksus Auerbach** (pleksus mienterik) yang terdiri dari serabut saraf dan sel ganglion parasimpatis, terletak di antara lapisan otot sirkular dalam dan longitudinal luar.
4. Serosa adalah lapisan terluar dari saluran dan juga dikenal sebagi peritoneum viseral. Serosa mengeluarkan cairan serosa untuk menjaga bagian luar saluran tetap lembab atau basah dan untuk mencegah saluran melekat ke organ lainnya.
   - Peritoneum, mesenterium, dan omentum abdominopelvis adalah membran serosa terlebar dalam tubuh.
     a) **Peritoneum parietal** melapisi rongga abdominopelvis.
     b) **Peritonium viseral** membungkus organ dan terhubungkan ke peritoneum parietal oleh berbagai lipatan.

c) **Rongga peritoneal** adalah ruang potensial antara viseral dan peritoneum parietal.

5. **Mesenterium** dan **omentum** adalah lipatan jaringan peritoneal berlapis ganda yang merefleks balik dari peritoneum viseral. Lipatan ini berfungsi untuk mengikat organ-organ abdominal satu sama lain dan melabuhkannya ke dinding abdominal belakang. Pembuluh darah, limfatik, dan saraf terletak dalam lipatan peritoneal.
   a. **Omentum besar** adalah lipatan ganda berukuran besar yang melekat pada duodenum, lambung, dan usus besar. Lipatan ini tergantung seperti celemek di atas usus.
   b. **Omentum kecil** menopang lambung dan duodenum sehingga terpisah dari hati.
   c. **Mesokolon** melekatkan kolon ke dinding abdominal belakang.
   d. **Ligamen falsiformis** melekatkan hati ke dinding abdominal depan dan diafragma.
6. Organ yang tidak terbungkus peritoneum, tetapi hanya tertutup olehnya disebut **retroperitoneal** (di belakang peritoneum). Yang termasuk retroperitoneal antara lain: pankreas, duodenum, ginjal, rektum, kantung kemih, dan beberapa organ reproduksi perempuan.

Kontrol saraf pada saluran pencernaan. Sistem saraf otonom menginervasi keseluruhan saluran pencernaan, kecuali ujung atas dan ujung bawah yang dikendalikan secara volunter.

1. **Impuls parasimpatis** yang dihantarkan dalam saraf vagus (CN X), mengeluarkan efek stimulasi konstan pada tonus otot polos dan bertanggung jawab untuk **peningkatan keseluruhan aktivitas**. Efek ini meliputi motilitas dan sekresi getah pencernaan.
2. Impuls simpatis yang dibawa medulla spinalis dalam saraf splanknik, menghambat kontraksi otot polos saluran, mengurangi motalitas, dan menghambat sekresi cairan pencernaan.
3. Pleksus Meissner dan Auerbach merupakan sisi sinaps untuk serabut praganglionik parasimpatis. Pleksus ini juga berfungsi untuk pengaturan kontraktil lokal dan aktivitas sekretori saluran.

Enzim Pencernaan

Selama pencernaan, ada 3 kelompok molekul yang biasa ditemui. Masing masing dipecah-pecah menjadi komponen molekulnya oleh enzim-enzim khusus:

- Kompleks karbohidrat atau polisakarida (seperti tepung) dipeceh menjadi oligosakarida (mengandung 2-10 monosakarida yang berhubungan), disakarida (seperti maltosa), atau monosakarida tunggal (seperti glukosa dan fruktosa). Enzim yang disebut amilase memecah amilum (tepung)
- Protein dipecah menjadi rantai asam amino pendek (peptida) atau asam amino tunggal oleh enzim yang disebut protease.
- Lemak (lipida) dipecah menjadi gliserol dan asam lemak (peptida) oleh enzim yang disebut lipase.

Ringkasan pencernaan karbohidrat, protein, dan lemak dapat dilihat pada Tabel 1. Pencernaan karbohidrat, protein, dan lemak

Tabel 1.
Pencernaan karbohidrat, protein, dan lemak

Enzim	Sumber Sekresi	Aksi
Karbohidrat Amilase saliva (ptialin) Amilase pankreas Maltase Sukrase Laktase	Kelenjar saliva Pankreas Usus halus Usus halus Usus halus	Zat tepung→Maltosa Zat tepung→Disakarida dan maltose Maltosa→Glukosa Sukrosa→Glukosa dan fruktosa Laktosa→Glukosa dan galaktosa
Protein Pepsin	Lambung (Pepsinogen diaktivasi oleh HCl lambung)	Protein→Polipeptida Protein dan peptida→Peptida yang lebih kecil
Tripsin	Pankreas (Tripsinogen diaktivasi oleh enterokinase)	Protein dan peptida→Peptida yang lebih kecil Dipeptida→Asam amino
Kimotripsin Peptidase	Pankreas (Kimotripsinogen diaktivasi oleh tripsin) Usus halus	Trigesirida→Monogliserida dan asam lemak
Lemak Lipase pankreas Lipase usus	Pankreas (dengan garam empedu) Usus halus (dengan garam empedu)	Monogliserida→Asam lemak dan gliserol

A. RONGGA ORAL DAN ESOFAGUS

- **Rongga oral**

Adalah jalan masuk menuju sistem pencernaan dan berisi organ eksesori yang berfungsi dalam proses awal pencernaan. Rongga **vestibulum** (bukal) terletak di antara gigi dan, bibir dan pipi sebagai batas luarnya. Rongga oral utama dibatasi gigi dan gusi di bagian

depan, palatum lunak dan keras di bagian atas, lidah di bagian bawah, dan orofaring di bagian belakang.

- **Kelenjar saliva**

Mensekresi saliva ke dalam rongga oral. Saliva terdiri dari cairan encer yang mengandung enzim dan cairan kental yang mengandung mukus.

1) Ada tiga pasang kelenjar saliva.
    a) Kelenjar parotid adalah kelenjar saliva terbesar, terletak agak ke bawah dan di depan telinga dan membuka melalui duktus parotid (Stensen) menuju suatu elevasi kecil (papila) yang terletak berhadapan dengan gigi molar kedua pada kedua sisi.
    b) Kelenjar submaksilar (submandibular) kurang lebih sebesar kacang kenari dan terletak di permukaan dalam pada mandibula serta membuka melalui duktus Wharton menuju ke dasar mulut pada kedua sisi frenulum lingua.
    c) Kelenjar sublingual terletak di dasar mulut dan membuka melalui duktus sublingual kecil menuju ke dasar mulut.
2) Komposisi saliva. Saliva terutama terdiri dari sekresi serosa, yaitu 98%dan mengandung enzim amilase serta berbagai jenis ion (natrium, klorida, bikarbonat, dan kalium), juga sekresi mukus yang lebih kental dan lebih sedikit yang mengandung glikoprotein (musin), ion, dan air.
3) Fungsi saliva
    a) Saliva melarutkan makanan secara kimia untuk pengecapan rasa.
    b) Saliva melembabkan dan melumasi makanan sehingga dapat ditelan. Saliva juga memberikan kelembaban pada bibir dan lidah sehingga terhindar dari kekeringan.
    c) Amilase pada saliva mengurai zat tepung menjadi polisakarida dan maltosa, suatu disakarida.
    d) Zat buangan seperti asam urat dan urea, serta berbagai zat lain seperti obat, virus, dan logam, diekskresi ke dalam saliva.
    e) Zat antibakteri dan antibodi dalam saliva berfungsi untuk membersihkan rongga oral dan membantu memelihara kesehatan oral serta mencegah kerusakan gigi.
4) Kontrol saraf pada sekresi saliva
    a) Aliran saliva dapat dipicu melalui stimulasi psikis (pikiran akan makanan), mekanis (keberadaan makanan), atau kimiawi (jenis makanan).
    b) Stimulus dibawa melalui serabut eferen dalam saraf kranial V, VII, IX, dan X menuju nuclei salivatori inferior dan superior dalam medulla. Semua kelenjar saliva dipersarafi serabut simpatis dan parasimpatis.
    c) Volume dan komposisi saliva bervariasi sesuai jenis stimulus dan jenis inervasinya (sistem simpatis atau parasimpatis).
        (1) Stimulasi parasimpatis mengakibatkan vasodilatasi pembuluh darah dan sekresi berair (serosa) yang banyak sekali.

(2) Stimulasi simpatis mengakibatkan vasokonstriksi pembuluh darah dan sekresi mukusyang lebih kental dan lengket. Obat-obatan yang mengandung penghambat kolinergik (neuro transmitter parasimpatis) mengakibatkan terjadinya sensasi mulut kering.

(3) Pada manusia normal, saliva yang disekresi permenit adalah sebanyak 1 ml. Saliva yang disekresi dapat mencapai 1L sampai 1,5 L dalam 24 jam.

B. GIGI TERSUSUN DALAM KANTONG-KANTONG (ALVEOLI) PADA MANDIBULA DAN MAKSILA.

1. Anatomi gigi

a) Setiap lengkung barisan gigi pada rahang membentuk lengkung gigi. Lengkung bagian atas lebih besar dari bagian bawah sehingga gigi-gigi atas secara normal akan menutup (overlap) gigi bawah.

b) Manusia memiliki 2 susunan gigi: gigi primer (desiduous, gigi susu) dan gigi sekunder (permanen).

(1) Gigi primer dalam setengah lekung gigi (dimulai dari ruang di antara dua gigi depan) terdiri dari, dua gigi seri, satu taring, dua geraham (molar), untuk total keseluruhan 20 gigi.

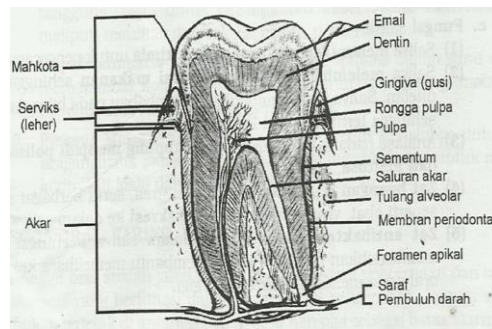
(2) Gigi sekunder mulai keluar pada usia lima sampai enam tahun. Setengah dari lengkung gigi terdiri dari dua gigi seri, satu taring, dua premolar (bikuspid), dan tiga geraham (trikuspid), untuk total keseluruhan 32 buah. Geraham ketiga disebut “gigi bungsu”.

c) Komponen gigi (gambar 2)

(1) Mahkota adalah bagian gigi yang terlihat. Satu sampai tiga akar yang tertanam terdiri dari bagian gigi yang tertanam ke dalam prosesus (kantong) alveolar tulang rahang.

(2) Mahkota dan akar bertemu pada leher yang diselubungi gingival (gusi).

(3) Membran periodontal merupakan jaringan ikat yang melapisi kantong alveolar dan melekat pada sementum di akar. Membran ini menahan gigi di rahang.

(4) Rongga pulpa dalam mahkota melebar ke dalam saluran akar, berisi pulpa gigi yang mengandung pembuluh darah dan saraf. Saluran akar membuka ke tulang melalui foramen apikal.

Gambar 2 . Potongan Geraham

(5) Dentin menyelubungi rongga pulpa dan membentuk bagian terbesar gigi. Dentin pada bagian mahkota tertutup oleh email dan di bagian akar oleh sementum. Email terdiri dari 97% zat anorganik (terutama kalsium fosfat) dan merupakan zat terkeras dalam tubuh. Zat ini berfungsi untuk melindungi, tetapi dapat tererosi oleh enzim dan asam yang diproduksi bakteri mulut dan mengakibatkan karies gigi. Fluorida dalam air minum atau yang sengaja dikenakan pada gigi dapat memperkuat email.

2. Fungsi gigi

Gigi berfungsi dalam proses mastikasi (pengunyahan). Makanan yang masuk dalam mulut dipotong menjadi bagian-bagian kecil dan bercampur dengan saliva untuk membentuk bolus makanan yang dapat ditelan.

a. Esofagus

Esofagus adalah tabung sepanjang 25 cm (10 inci) yang dimulai dari laringofaring dan turun di belakang trakea melalui mediastinum (rongga di antara paru-paru) (gambar 3). Kemudian makanan melewati diafragma ke sebuah lubang yang disebut hiatus esofageal dan berhubungan dengan lambung. Makanan didorong ke esofagus menuju lambung secara peristalsis. Dua otot lingkar (sfingter), otot lingkar esofagus atas di bagian atas esofagus dan otot lingkar kardia (otot lingkar esofagus bawah) di dasar esofagus, mengendalikan pergerakan makanan ke dalam dan ke luar esofagus.

b. Deglutisi (Penelanan)

Penelanan, atau deglutisi dibagi menjadi tiga fase:

1) Fase bukal terjadi secara sadar di dalam mulut ketika lidah menggerakkan gumpalan makanan kembali ke dalam faring.
2) Fase faring terjadi secara tidak sadar ketika makanan memasuki faring, sebagai berikut: langit-langit lunak dan tekak tertekuk ke atas menutup nasofaring untuk mencegah masuknya makanan ke rongga hidung. Epiglotis, kelepak tulang rawan yang fleksibel di atas laring, menekuk ke bawah sementara laring naik. Akibatnya, lubang menuju laring tertutup, dan makanan hanya dapat masuk ke esofagus.

3) Fase esofagus terjadi secara tidak sadar di dalam esofagus. Otot lingkar esofagus, yang biasanya tertutup, terbuka memungkinkan makanan lewat ketika laring naik selama penelanan. Ketika makanan mencapai bagian bawah esofagus, otot lingkar kardia terbuka memungkinkan makanan memasuki lambung.

C. LAMBUNG

1. Anatomi

a. Lambung

Adalah organ berbentuk J, terletak pada bagian superior kiri rongga abdomen di bawah diafrgma.Semua bagian, kecuali sebagian kecil,terletak pada bagian kiri garis tengah. Ukuran dan bentuknya bervariasi dari satu individu ke individu lain. Regia-regia lambung terdiri dari bagian kardia, fundus, bodi organ, dan bagian pilorus.

1) Bagian kardia lambung adalah area di sekitar pertemuan esofagus dan lambung (pertemuan gastroesofagus).
2) Fundus adalah bagian yang menonjol ke sisi kiri atas mulut esofagus.
3) Bodi lambung adalah bagian yang terdilatasi di bawah fundus, yang membentuk dua pertiga bagian lambung. Tepi medial bodi lambung yang konkaf disebut kurvatur kecil; tetapi lateral bodi lambung yang konveks disebut kurvatur besar.
4) Bagian pilorus lambung yang menyempit di ujung bawah lambung dan membuka ke duodenum. Antrum pilorus mengarah ke mulut pilorus yang dikelilingi sfingter pilorus muskular tebal.

b. Histologi dinding lambung

Ada tiga lapisan jaringan dasar (mukosa, submukosa, dan jaringan muskularis) beserta modifikasinya (gambar

1) Muskularis eksterna pada bagian fundus dan bodi lambung mengandung lapisan otot melintang (oblik) tambahan. Lapisan otot tambahan ini membantu keefektifan pencampuran dan penghancuran isi lambang.
2) Mukosa membentuk lipatan-lipatan (ruga) longitudinal yang menonjol sehingga memungkinkan peregangan dinding lambung. Ruga terlihat saat lambung kosong dan akan menghalus saat lambung meregang terisi makanan.
3) Ada kurang lebih 3 juta pit lambung di antara ruga-ruga yang bermuara pada sekitar 15 juta kelenjar lambung. Kelenjar lambung yang dinamakan sesuai letaknya, menghasilkan 2 L sampai 3 L cairan lambung. Cairan lambung mengandung enzim-enzim pencernaan, asam klorida, mukus, garam-garaman, dan air.

B. FUNGSI LAMBUNG

1. Penyimpanan makanan

Kapasitas lambung normal memungkinkan adanya interval waktu yang panjang antara saat makan dan kemampuan menyimpan makanan dalam jumlah besar sampai makanan ini dapat terakomodasi di bagian bawah saluran. Lambung tidak memiliki peran mendasar dalam kehidupan dan dapat diangkat, asalkan makanan yang dimakan sedikit dan sering.

2. Produksi kimus

Aktivitas lambung mengakibatkan terbentuknya kimus (massa homogen setengah cair, berkadar asam tinggi yang berasal dari bolus) dan mendorongnya ke dalam duodenum.

3. Digesti protein

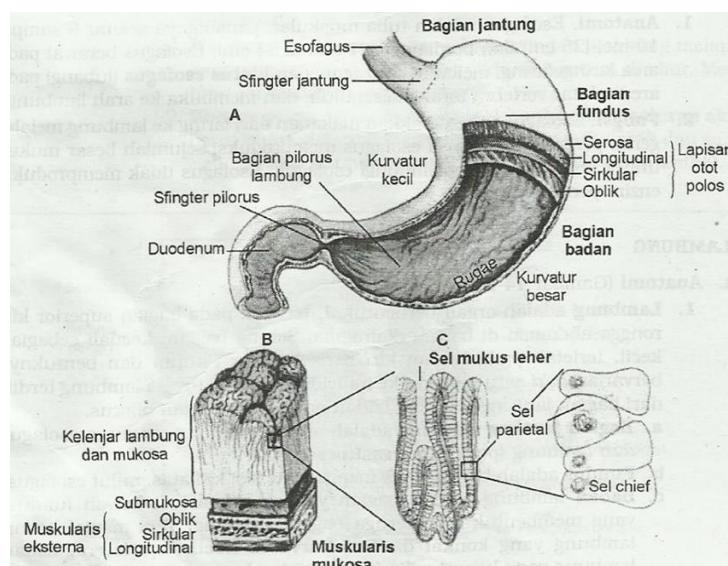
Lambung memulai digesti protein melalui sekresi tripsin dan asam klorida

4. Produksi mukus

Mukus yang dihasilkan dari kelenjar membentuk barier setebal 1 mm untuk melindungi lambung dari aksi pencernaan dari sekresinya sendiri.

5. Produksi faktor intrinsik

a. Faktor intrinsik adalah glikoprotein yang disekresi sel parietal

b. Vitamin B12, yang didapat dari makanan yang dicerna lambung, terikat pada faktor intrinsik. Kompleks faktor intrinsik vitamin B12 dibawa ke ileum usus halus, tempat vitamin B12 diabsorpsi.

Gambar 4. Lambung

A. Potongan frontal lambung dari duodenum memperlihatkan anatomi internal dan eksternal. B. Mukosa lambung. C. Kelenjar lambung dari fundus. D. Sel chief dan sel parietal.

6. Absorpsi

Absorpsi nutrien yang berlansung dalam lambung hanya sedikit. Beberapa obat larut lemak (aspirin) dan alkohol diabsorpsi pada dinding lambung. Zat terlarut dalam air terabsorpsi dalam jumlah yang tidak jelas.

C. SEKRESI LAMBUNG

1. Jenis kelenjar lambung

a. Kelenjar kardia ditemukan di regia mulut kardia. Kelenjar ini hanya mensekresi mukus.

b. Kelenjar fundus (lambung) terdiri atas tiga jenis sel.
   1) Sel chief (zimogenik) mensekresi pepsinogen, prekursor enzim pepsin. Kelenjar ini mensekresi lipase dan renin lambung,yang kurang penting.
   2) Sel parietal mensekresi asam klorida (HCl) dan faktor intrinsik.
      (a) Dalam pembuatan HCl, CO_2 bergerak ke dalam sel untuk berikatan dengan air dan membentuk asam karbonat (H_2CO_3) dalam reaksi yang dikatalis oleh anhidrase karbonik.
      (b) H_2CO_3 terionisasi untuk membentuk H^+ dan HCO_3^-. Ion bikarbonat keluar dari sel untuk digantikan ion klorida (Cl^-) dan memasuki sirkulasi sistemik.
      (c) Ion hidrogen, bersama ion klorida, secara aktif terpompa ke dalam lambung.
   3) Sel leher mukosa ditemukan pada bagian leher semua kelenjar lambung. Sel ini mensekresi barier mukus setebal 1 mm dan melindungi lapisan lambung terhadap kerusakan HCl atau autodigesti.

c. Kelenjar pilorus terletak pada regia antrum pilorus. Kelenjar ini mensekresi mukus dan gastrin, suatu hormon peptida yang berpengaruh besar dalam proses sekresi lambung.

2. Tiga tahap sekresi lambung

Dinamakan sesuai dengan regia tempat terjadinya stimulus. Faktor saraf dan hormon terlibat.

a. Tahap sefalik terjadi sebelum makanan mencapai lambung. Masuknya makanan ke dalam mulut atau tampilan, bau, atau pikiran tentang makanan, dapat merangsang sekresi lambung.

b. Tahap lambung terjadi saat makanan mencapai lambung dan berlansung selama makanan masih ada.
   1) Peregangan dinding lambung merangsang reseptor saraf dalam mukosa lambung dan memicu refleks lambung. Serabut aferen parasimpatis menjalar dalam vagus menuju kelenjar lambung untuk menstimulasi produksi HCl, enzim-enzim pencernaan, dan gastrin.

2) Asam amino dan protein dalam makanan yang separuh tercerna dan zat kimia (alkohol dan kafein) juga meningkatkan sekresi lambung melalui refleks lokal.
3) Fungsi gastrin, antara lain:
    (a) Gastrin merangsang sekresi lambung.
    (b) Gastrin meningkatkan motilitas usus dan lambung.
    (c) Gastrin mengkontriksi sfingter esofagus bawah dan merelaksasi sfingter pilorus.
    (d) Efek tambahan, seperti stimulasi sekresi pankreas dan peningkatan motilitas usus, juga termasuk fungsi gastrin.
4) Pengaturan pelepasan gastrin dalam lambung terjadi melalui penghambatan umpan balik yang didasarkan pada pH isi lambung.
    (a) Jika tidak ada makanan dalam lambung di antara jam makan, pH lambung rendah dan sekresi lambung terbatas.
    (b) Makanan yang masuk ke lambung memiliki efek pendaparan (buffering) yang mengakibatkan peningkatan pH dan peningkatan sekresi lambung.

c. Tahap usus

Terjadi setelah kimus meninggalkan lambung dan memasuki usus halus yang kemudian memicu faktor saraf dan hormon.

1) Sekresi lambung distimulasi oleh sekresi gastrin duodenum sehingga dapat berlangsung selama beberapa jam. Gastrin ini dihasilkan oleh bagian atas (duodenum) usus halus dan dibawa dalam sirkulasi menuju lambung.
2) Sekresi lambung dihambat oleh hormon-hormon polipeptida yang dihasilkan duodenum. Hormon ini, yang dibawa dalam sirkulasi menuju lambung, disekresi sebagai respons terhadap asiditas lambung dengan pH di bawah 2 dan jika ada makanan berlemak. Hormon-hormon ini meliputi gastric inhibitory polipeptide (GIP), sekretin, kolesistokinin (cholecystokinin [CCK]), dan hormon pembersih enterogastron.

D. DIGESTI DALAM LAMBUNG

Cairan lambung memicu digesti protein dan lemak.

1. Digesti protein. Pepsinogen (disekresi sel chief) diubah menjadi pepsin oleh asam klorida (disekresi sel parietal). Pepsin adalah enzim proteolitik, yang hanya dapat bekerja dengan pH di bawah 5. Enzim ini menghidrolisis protein menjadi polipeptida. Lambung janin memproduksi renin, enzim yang mengkoagulasi protein susu, dan menguraikannya untuk membentuk dadih (curd).
2. Lemak. Lipase lambung (disekresi sel chief) menghidrolisis lemak susu menjadi asam lemak dan gliserol, tetapi aktivitasnya terbatas dalam kadar pH yang rendah.
3. Karbohidrat. Amilase dalam saliva yang menghidrolisis zat tepung bekerja pada pH netral. Enzim ini terbawa bersama bolus dan tetap bekerja dalam lambung sampai

asiditas lambung menembus bolus. Lambung tidak mensekresi enzim untuk mencerna karbohidrat.

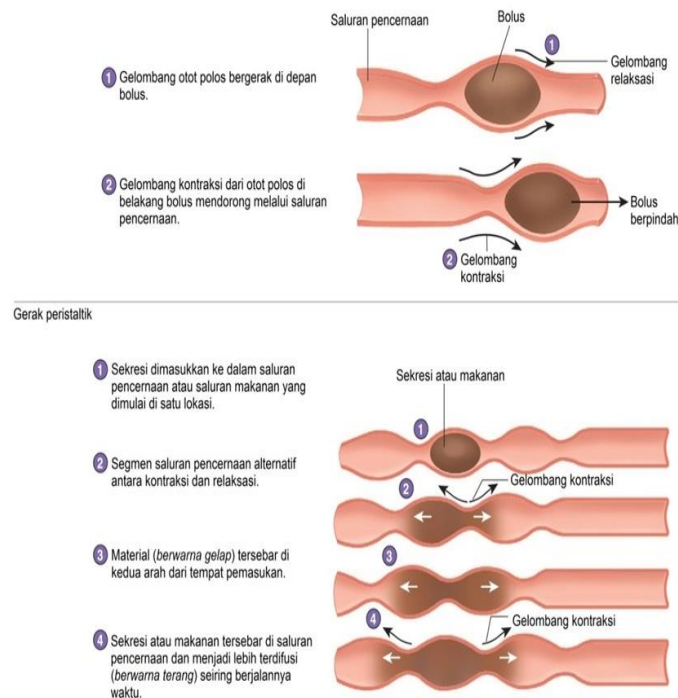
E. KONTROL PADA PENGOSONGAN LAMBUNG

1. Pengosongan distimulasi secara refleks saat merespons terhadap peregangan lambung, pelepasan gastrin, kekentalan kimus, dan jenis makanan. Karbohidrat dapat masuk dengan cepat, protein lebih lambat, dan lemak tetap dalam lambung selama 3 sampai 6 jam.
2. Pengosongan lambung dihambat oleh hormon duodenum yang juga menghambat sekresi lambung dan oleh refleks umpan balik enterogastrikdari duodenum. Faktor-faktor hormon dan saraf ini mencegah terjadinya pengisian yang berlebih pada usus dan memberikan waktu yang lebih lama untuk digesti dalam usus halus.
3. Sinyal umpan balik memungkinkan kimus memasuki usus halus pada kecepatan tertentu sehingga dapat diproses.

F. USUS HALUS

1. Gambaran umum.

Keseluruhan usus halus adalah tuba terlilit yang merentang dari sfingter pilorus sampai ke katup ileosekal, tempatnya menyatu dengan usus besar. Diameter usus halus kurang lebih 2,5 cm dan panjangnya 3 sampai 5 meter saat bekerja. Panjang 7 meter pada mayat dicapai saat lapisan muskularis eksterna berelaksasi.

2. Divisi

a. **Duodenum** adalah bagian yng terpendek (25 cm - 30 cm). Duktus empedu dan duktus pankreas, keduanya membuka ke dinding posterior duodenum beberapa sentimeter di bawah mulut pilorus.
b. **Yeyenum** adalah bagian yang selanjutnya. Panjangnya kurang lebih 1 m - 1,5 m.
c. **Ileum** (2 m - 2,5 meter) merentang sampai menyatu dengan usus besar.

3. Motilitas

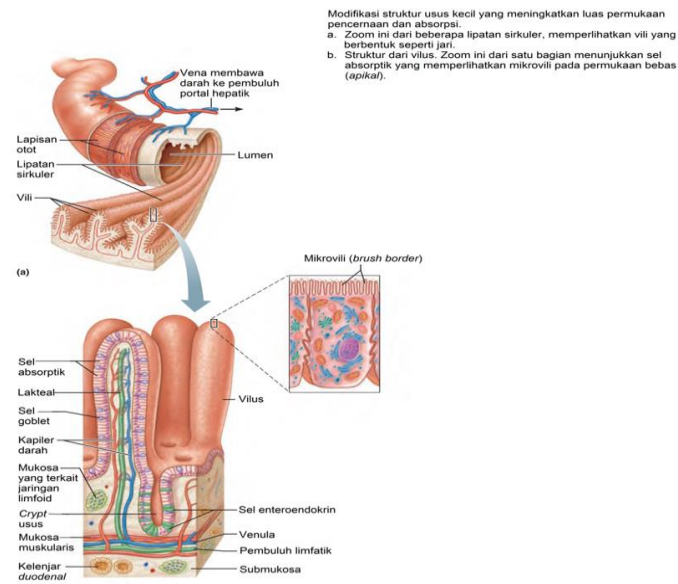
Gerakan usus halus mencampur isinya dengan enzim untuk pencernaan, memungkinkan produk akhir pencernaan mengadakan kontak dengan sel absorptif, dan mendorong zat sisa memasuki usus besar. Pergerakan ini dipicu oleh peregangan dan secara refleks dikendalikan oleh sistem saraf otonom.

a. **Segmentasi irama** adalah gerakan pencampuran utama. Segmentasi mencampur kimus dengan cairan pencernaan dan memaparkannya ke permukaan absorptif. Gerakan ini adalah gerakan kontriksi dan relaksasi yang bergantian dari cincin-cincin otot dinding yang membagi isi menjadi segmen-segmen dan mendorong kimus bergerak maju-mundur dari satu segmen yang relaks ke segmen lain (gambar

b. **Peristaltis** adalah kontraksi ritmik otot polos longitudinal dan sirkular. Kontraksi ini adalah daya dorong utama yang menggerakkan kimus ke arah bawah di sepanjang saluran (gambar 5.)

Gambar 5. Peristaltis

G. ANATOMI MIKROSKOPIK DINDING USUS

1. Ada tiga sepsialisasi stuktural yang memperluas permukaan absorptif usus halus sampai kurang lebih 600 kali.
   a. Plicae circulars adalah lipatan sirkular membran mukosa yang permanen dan besar. Lipatan ini hampir secara keseluruhan mengitari lumen.
   b. Vili adalah jutaan tonjolan menyerupai jari (tingginya 0,2 mm sampai 1,0 mm) yang memanjang kelumen dari permukaan mukosa. Hanya ditemukan pada usus halus, setiap vilus mengandug jarring-jaring kapiler dan pembuluh limfe yang disebut lakteal.
   c. Mikrovili adalah lipatan-lipatan menonjol kecil pada pada membran sel yang muncul pada tepi yang berhadapan dengan sel-sel epitel.

Gambar 6. Usus halus

2. Kelenjar
   a. Kelenjar-kelenjar usus (kripta lieberkuhn) tertanam dalam mukosa dan membuka di antara basis-basis vili. Kelenjar ini mensekresi hormon dan enzim.
      1) Enzim yang dibentuk oleh sel epithelial usus dibutuhkan untuk melengkapi digesti. Enzim ini akan dijelaskan kemudian.
      2) Hormon-hormon yang mempengaruhi sekresi dan motilitas saluran pencernaan antara lain:
         a) Sekretin, CCK, dan GIP berperan untuk menghalangi sekresi kelenjar lambung.
         b) Peptida usus vesoaktif memiliki efek vasodilator dan efek releksasi otot polos
         c) Substansi P mempengaruhi aktivitas motorik otot polos.
         d) Somatostatin menghambat sekresi asam klorida dan gastrin seperti hipotalamus yang melepas faktor pelepas hormon pertumbuhan.
   b. Kelenjar penghasil mukus
      1) Sel goblet terletak dalam epithelium disepanjang usus halus. Sel ini memproduksi mukus pelindung.
      2) Kelenjar Brunner terletak dalam submukosa duodenum. Kelenjar ini memproduksi mukus untuk melindungi mukosa duodenum terhadap kimus asam dan cairan lambung yang masuk ke pilorus melalui lambung.
   c. Kelenjar enteroendokrin menghasilkan hormon-hormon gastrointestinal.

3. Jaringan limfatik. Leukosit dan nodulis limfe ada di keseluruhan usus halus untuk melindungi dinding usus terhadap infasi benda asing agregasi nodulus limfe yang disebut bercak Peyer terdapat dalam ileum.

H. FUNGSI USUS HALUS

1. Usus halus mengakhiri proses pencernaan makanan yang di mulai di mulut dan di lambung. Proses ini di selenggarakan oleh enzim usus dan enzim pankreas serta dibantu empedu dalam hati.
2. Usus halus secara selektif mengabsorpsi produk digesti.

1. Pankreas

Pankreas adalah kelenjar terelogasi berukuran besar dibalik kurvatur besar lambung. Sel-sel endokrin (pulau-pulau Langerhans) pankreas mensekresi hormone insulin dan glukogen. Sel-sel eksokrin (asinar) mensekresi enzim-enzim pencernaan dan larutan berair yang mengandung ion bikarbonat dalam konsentrasi tinggi. Produk gabungan sel-sel asinar mengalir melalui duktus pankreas, yang menyatu dengan duktus empedu komunis dan masuk ke duodenum di titik ampula hepatopankreas, walaupun duktus pankreas dan duktus empedu komunis membuka secara terpisah pada duodenum. Sfingter oddi secara normal mempertahankan keadaan mulut duktus agar tetap tertutup. Kontrol pada sekresi pankreas. Sekresi eksokrin pankereas dipengaruhi oleh aktivitas refleks saraf selama tahap sefalik dari lambung pada sekresi lambung. Walaupun demikian, kontrol utama terletak pada hormon duodenum yang diabsorpsi kedalam aliran darah untuk mencapai pankreas. Sekretin diproduksi oleh sel-sel mukosa duodenum dan diabsorpsi kedalam darah untuk mencapa pankreas. Sekretin akan dilepas jika kimus asam memasuki usus dan mengeluarkan sejumlah besar cairan berair yang mengandung natrium bikarbonat. Bikarbonat menetralisir asam dan membentuk lingkungan basa untuk kerja enzim pankreas dan usus.

CCK diproduksi oleh sel-sel mukosa duodenum sebagai respons terhadap lemak dan protein separuh tercerna yang masuk dari lambung. CCK ini menstimulasi sekresi sejumlah besar enzim pankreas.

Komposisi getah pankreas. Cairan pankreas mengandung enzim-enzim untuk mencerna protein, karbohidrat, dan lemak.

1. Enzim proteolitik pankreas (protease)
    a. Tripsinogen yang disekresi pankreas diaktivasi menjadi tripsin oleh enterokinase yang diproduksi usus halus. Tripsin mencerna protein dan polipeptida besar untuk membentuk polipeptida dan peptida yang lebih kecil.
    b. Kimotripsin teraktivasi dari kimotripsinogen oleh tripsin kimotriptida memiliki fungsi yang sama seperti tripsin terhadap protein.
    c. Karboksipeptidase, aminopeptidase dan dipeptidase adalah enzim yang melanjutkan proses pencernaan protein untuk menghasilkan asam amino bebas.

2. Lipase pancreas menghidrolisis lemak menjadi asam lemak dan gliserol setelah lemak diemulsi oleh garam-garam empedu.
3. Amilase pancreas menghidrolisis zat tepung yang tidak tercerna oleh amilase saliva menjadi disakarida (maltosa, sukrosa, dan laktosa).
4. Ribonuklease dan deoksribonuklease menghidrolisis RNA dan DNA menjadi blok-blok pembentuk nukleotidanya.

2. Hati dan Kantong Empedu

Fungsi hati dalam sistem pencernaan adalah menghasilkan empedu yang kemudian dibawah ke usus kecil untuk mengemulsikan lema. Emulsifikasi adalah pemecahan gumpalan lemak menjadi tetesan lemak yang lebih kecil, yang menambah daerah permukaan dimana enzim pencernaan lemak (lipase) dapat bekerja. Karena empedu secara kimiawi tidak mengubah apa – apa , emepdu bukan merupakab enzim. Empedu juga bersifat basa dan berfungsi menetralkan HCl di dalam kimus.

Emepdu terdiri atas garam empedu, pigmen empedu, fosfolipida (termasuk lesitin), kolesteroldan berbagai ion. Pigmen utama empedu, bilirubin adalah hasil akhir dari pemecahan hemoglobin dari sel darah merah yang sudah tua. Walaupun sebagian emepedu tersebut hilang dalam feses (bilirubin membuat feses berwarna cokelat), kebanyakan empedu diserap kembali oleh usus kecil dan dikembalikan ke hati lewat vena porta hepatik .

Hati melaksanakan berbagai fungsi metabolisme. Beberapa fungsi yang penting adalah sebagai berikut:

1. Sekresi, hati menghasilkan dan mensekresikan empedu
2. Sintesis garam empedu, garam empedu adalah derivat kolesterol yang dihasilkan di hati dan membantu pencernaan dan absorpsi lemak dan vitamin yang larut dalam lemak.
3. Sintesis protein plasma, hati mensintesis albumin, globulin (kecuali imunoglobin), fibrinogen dan faktor pembekuan.
4. Penyipanan, hati menyimpan glukosa dalam bentuk glikogen dan juga menyimpan besi dan vitamin A, B12, D, E dan K.
5. Ekskresi, hormon , obat dan pigmen empedu dari pemecahan hemoglobin di ekskresikan di empedu.
6. Metabolisme karbohidrat, hati memilliki peran besar dalam mempertahankan kadar glukosa darah dan mengubahnya menjadi glikogen untuk disimpan. Dia memecah glikogen menjadi glukosa ketika dibutuhkan, megubah molekul nonkarbohidrat menjadi glukosa.
7. Metabolisme lipid, fungsi hati dalam pemecahan asam lemak, dalam sintetis kolesterol dan fosfolipid, dan dalam konversi kelebihan karbohidrat dan protein menjadi lemak.
8. Metabolisme protein, hati mengubah asam amino menjadi asam amino lain yang diperlukan untuk sintetis protein, juga amonia yang dihasilkan dari pemecahan protein menjadi urea yang kurang toksik dan dapat diekskresi di empedu.

9. Penyaring, sel kuffer hepatosit yang melapisi sinusoid melepaskan bakteri, sel darah merah yang rusak dan partikel lainnya dari tubuh.
10. Detoksifikasi, sebagian besar zat-zat yang ditelan adalah berbahaya bagi sel tubuh kita. Selain itu, tubuh sendiri menghasilkan banyak produk dari hasil metabolisme, yang jika terakumulasi akan menjadi toksik. Hati membentuk pertahanan utama dengan merubah struktur dari kebanyakan zat-zat yang berbahaya ini dengan membuatnya menjadi kurang toksik atau membuatnya lebih mudah untuk dieliminasi. Sebagai contoh produk hasil dari metabolisme asam amino, adalah toksik dan tidak secara cepat dilepaskan dari sirkulasi oleh ginjal. Hepatosit melepaskan amonia dari sirkulasi dan mengubahnya menjadi urea, yang kurang toksik dari pada ammonia. Urea kemudian disekresikan ke dalam sirkulasi dan dieliminasi oleh ginjal di urin. Hepatosit hati juga melepaskan zat-zat lainnya dari sirkulasi dan mengsekresikannya ke dalam empedu.

Hati terdiri atas banyak unit fungsional yang disebut lobula. Di dalam setiap lobula, sel epitelium yang disebut hepatosit disusun dalam lapisan – lapisan yang menyebar keluar dari vena sentral. Sinusoid hati adalah ruang yang terdapat diantara kelompok lapisan ini, sedangkan saluran yang lebih kecil yang disebut kanalikulus empedu memisahkan lapisan yang lain. Masing – masing dari (biasanya) enam sudut lobula ditempati oleh tiga pembuluh: satu duktus empedu dan dua pembuluh darah (triad portal). Pembuluh darah ini merupakan cabang dari arteri hepatik (yang membawa darah teroksigen) dan dari vena porta hepatik (yang membawa darah tak teroksigen tetapi kaya nutrisi dari usus kecil).

Darah masuk ke hati lewat arteri hepatik dan vena porta hepatik dan kemudian didistribusikan ke lobula. Darah mengalir ke setiap lobula dengan melewati sinusoid hati dan berkumpul di vena senyral. Vena sentral dari semua lobula bersatu dan keluar dari hati lewat vena hepatik (bukan vena porta hepatik)

Di dalam sinusoid, fagosit yang disebut sel kupffer (sel retikuloendoteluim berbentuk bintang) menghancurkan bakteri dan memecah sel darah merah dan putih yang tua serta sisa – sisa yang lain. Hepatosit yang membatasi sinusoid juga menyaring darah yang masuk. Hepatosit menghilangkan berbagai zat dari darah termasuk oksigen, nutrisi, toksin dan material buangan. Dari zat ini, hepatosit menghasilkan empedu yang disekresi ke dalam kanalikulus empedu, yang masuk ke duktus empedu. Duktus empedu dari berbagai lobula bersatu dan keluar dari hati lewat duktus hepatik umum tunggal. Duktus hepatik umum ini bersatu dengan duktus sisitikus dari kantung empedu membentuk ampula hepatopankreas (hepatopankreatic ampulla). Saluran terakhir ini membawa empedu ke usus kecil.

Kantung empedu menyimpan kelebihan empedu. Ketika makanana mencapai usus kecil, empedu mengalir secara terus – menerus dari hati dan kantung empedu ke usus kecil. Ketika usus kecil kosong, otot lingkar (otot lingkar Oddi) menutup ampula hepatopankreas, dan empedu kembali dan mengisi kantung empedu .

I. ABSORPSI DALAM USUS HALUS

1. Digesti oleh enzim usus. Enzim-enzim usus melengkapi proses pencernaan kimus sehingga produk tersebut dapat langsung dan dengan mudah terserap.
    a. Enterokinase mengaktivasi tripsinogen pankreas menjadi tripsin, yang kemudian mengurai protein dan peptida menjadi peptida yang lebih kecil.
    b. Aminopeptidase, tetrapeptidase, tripeptidase, dan dipeptidase mengurai peptida menjadi asam amino bebas.
    c. Amilase usus menghidrolisis zat tepung menjadi disakarida (maltosa, sukrosa, dan laktosa).
    d. Maltase, isomaltase, laktase, dan sukrase memecah disakarida maltosa, laktosa, dam sukrosa, menjadi monosakarida (gula sederhana).
    e. Lipase usus memecah monogliserida menjadi asam lemak dan gliserol.
2. Jalur absorptif. Produk-produk digesti (monosakarida, asam amino, asam lemak, dan gliserol juga air, elektrolit, vitamin, dan cairan pencernaan diabsorpsi menembus membran sel epitel duodenum dan yeyunum. Hanya sedikit absorpsi yang berlangsung dalam ileum kecuali untuk garam-garam empedu dan vitamin B12.
3. Mekanisme transport absorpsi meliputi difusi, difusi terfasilitasi, transport aktif, dan pinositosis. Mekanisme utama adalah transpor aktif. Zat-zat yang ditranspor dari lumen usus ke darah atau limfe harus menembus sel-sel dan cairan interselular berikut:
    a. Membran plasma sel epithelial kolumnar pada vilus, sitoplasmanya, dan membran dasarnya.
    b. Jaringan ikat di antara sel epitel dan kapilar atau lakteal dalam vilus.
    c. Dinding kapilar atau lakteal yang terletak dalam inti vilus.
4. Absorpsi karbohidrat. Setiap gula sederhana dipercaya memiliki mekanisme transpornya sendiri. Gula bergerak dari usus menuju jarring-jaring kapilar vilus dan dibawa menuju hati oleh vena portal hepatika.
    a. Absorpsi glukosa terjadi bersamaan dengan transport aktif ion natrium (ko-transpor).
    b. Fruktosa ditranspor melalui difusi terfasilitasi yang diperantarai carrier.
    c. Monosakarida lain dapat diabsorpsi melalui difusi sederhana.
5. Absorpsi protein. Tranpor aktif asam amino ke dalam sel-sel usus juga berlangsung bersamaan dengan transport aktif natrium, dengan sistem carrier yang terpisah untuk asam amino berbeda. Dari kapilar vilus, asam amino dibawa ke hati.
6. Absorpsi lemak. Asam lemak larut lipid dan gliserol diabsorpsi dalam bentuk micelle, yaitu suatu globulus sferikal garam empedu yang menggiling bagian berlemak. Micelle membawa asam lemak dan monoglikoserida menuju sel epitel, tempatnya dilepas dan diabsorpsi melalui difusi pasif menuju membran sel usus.

a. Asam lemak berantai karbon pendek (kurang dari 10 sampai 12 atom karbon) merupakan molekul kecil yang bergerak ke dalam kapilar vilus bersama asam amino dan monosakarida.
b. Asam lemak berantai karbon panjang (mencapai 90% lebih dari asam lemak yang ada) dan molekul gliserol bergerak ke retikulum endoplasma, kemudian disintesis ualang menjadi trigliserida, berikatan dengan lipoprotein, fosfolipid, dan kolesterol, serta terbebas sebagai kilomikron dari tepi lateral sel usus.
c. Kilomikron menembus lakteal sentral vilus menuju sistem limfatik dan sirkulasi sitematik, sebelumnya melintasi (bypassing) hati.

7. Absorpsi air, elektrolit, dan vitamin
   a. Hanya 0,5 L dari 5 L sampai 10 L cairan yang ada dalam usus halus yang mencapai usus besar. Air diabsorpsi secara pasif melalui hukum osmosis setelah absorpsi elektrolit dan makanan tercerna.
   b. Ion dan zat renik diabsorpsi melalui difusi atau transport aktif.
      1) Absorpsi kalsium bervariasi sesuai dengan asupan makanan, kadar plasma, dan kebutuhan tubuh serta diatur oleh hormon paratiroid dan ingesti vitamin D.
      2) Absorpsi zat besi ditentukan sesuai kebutuhan metabolik. Zat besi terikat pada globulin (transferin) dalam darah dan tersimpan pada tubuh dalam bentuk feritin yang akan dilepas jika dibutuhkan.
      3) Vitamin larut air (C dan B) diabsorpsi melalui difusi. Vitamin larut lemak (A, D, E dan K) diabsorpsi bersama lemak. Absorpsi vitamin B12 bergantung pada faktor intrinsik lambung dan berlangsung dalam ileum.

J. USUS BESAR

Begitu materi dalam saluran pencernaan masuk ke usus besar, sebagian besar nutrien telah dicerna dan diabsorpsi dan hanya menyisakan zat-zat yang tidak tercerna. Makanan biasa memerlukan waktu 2 sampai 5 hari untuk menempuh ujung saluran pencernaan yang satu ke ujung lainnya: 2 sampai 6 jam di lambung, 6 sampai 8 jam di usus halus, dan sisa waktunya berada di usus besar.

1. Gambaran umum

a. Usus besar tidak memiliki vili, tidak memiliki plicae circulares (lipatan-lipatan sirkular), dan diameternya lebih lebar, panjangnya lebih pendek, dan daya regangnya lebih besar dibandingkan usus halus.
b. Serabut otot longitudinal dalam muskularis eksterna membentuk tiga pita, taeniae coli, yang menarik kolon menjadi kantong-kantong besar yang disebut haustra.
c. Katup ileosekal adalah mulut sfingter antara usus halus dan usus besar. Normalnya, katup ini tertutup, dan akan terbuka untuk merespons gelombang

peristaltik sehingga memungkinkan kimus mengalir 15 ml sekali masuk, untuk total aliran sebanyak 500 ml sehari.

2. Bagian-bagian usus besar (Gambar 7)

a. Sekum adalah kantong tertutup yang menggantung di bawah area katup ileosekal. Apendiks vermiform, suatu tabung buntu yang sempit berisi jaringan limfoid, menonjol dari ujung sekum.

b. Kolon adalah bagian usus besar dari sekum sampai rektum. Kolon memiliki tiga divisi.

   1) Kolon asenden merentang dari sekum sampai ke tepi bawah hati di sebelah kanan dan membalik secara horizontal pada fleksura hepatika.

   2) Kolon transversa merentang menyilang abdomen di bawah hati dan lambung sampai ke tepi lateral ginjal kiri, tempatnya memutar ke bawah pada fleksura splenik.

   3) Kolon desenden merentang ke bawah pada sisi kiri abdomen dan menjadi kolon sigmoid berbentuk S yang bermuara di rektum.

c. Rektum adalah bagian saluran pencernaan selanjutnya dengan panjang 12 sampai 13 cm. Rektum berakhir pada saluran anal dan membuka ke eksterior di anus.

   1) Mukosa saluran anal tersusun dari kolumna rektal (anal), yaitu lipatan-lipatan vertikal yang masing-masing berisi arteri dan vena.

   2) Sfingter anal internal otot polos (involunter) dan sfingter anal eksternal otot rangka (volunter) mengitari anus.

3. Fungsi usus besar

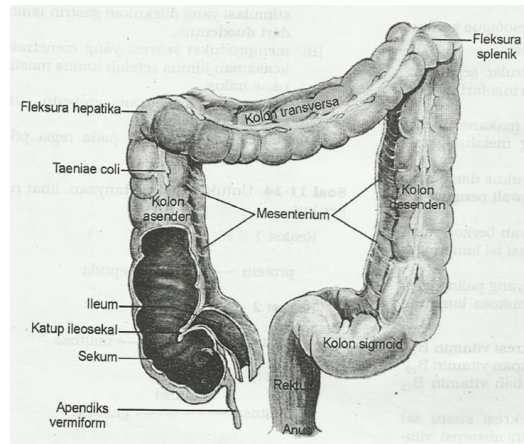
a. Usus besar mengabsorpsi 80% sampai 90% air dan elektrolit dari kimus yang tersisa dan mengubah kimus dari cairan menjadi massa semi padat.

b. Usus besar hanya memproduksi mukus. Sekresinya tidak mengandung enzim atau hormon pencernaan.

c. Sejumlah bakteri dalam kolon mampu mencerna sejumlah kecil selulosa dan memproduksi sedikit kalori nutrien bagi tubuh dalam setiap hari. Bakteri juga memproduksi vitamin (K, riboflavin, dan tiamin) dan berbagai gas.

d. Usus besar mengekskresi zat sisa dalam bentuk feses.

   1) Air mencapai 75% sampai 80% feses. Sepertiga materi padatnya adalah bakteri dan sisanya yang 2% sampai 3% adalah nitrogen, zat sisa organik dan anorganik dari sekresi pencernaan, serta mukus dan lemak.

   2) Feses juga mengandung sejumlah materi kasar, atau serat dan selulosa yang tidak tercerna. Warna coklat berasal dari pigmen empedu; bau berasal dari kerja bakteri.

Gambar 7. Usus besar

K. KELAINAN, GEJALA, DAN PRINSIP TERAPI

1. Diare

Diare yaitu penyakit yang ditandai dengan bertambahnya frekuensi buang air besar dari biasanya, yang disertai perubahan bentuk konsistensi feses dari penderita.

Gejala Diare
- Mual
- Pusing
- Demam
- Kembung
- Kehabisan cairan
- Tubuh menjadi lemas
- Menderita mram perut
- Buang air besar terus menerus

❖ **Penyebab Diare**

Penyebab paling umum dari diare adalah virus yang menginfeksi usus. Infeksi biasanya berlangsung selama dua hari dan kadang-kadang disebut "flu usus" atau "flu perut." Diare juga bisa disebabkan oleh:
- Infeksi oleh bakteri (penyebab sebagian besar jenis keracunan makanan)
- Infeksi oleh organisme lain
- Makan makanan yang mengganggu sistem pencernaan
- Alergi terhadap makanan tertentu
- Obat-obatan
- Terapi radiasi
- Penyakit usus (penyakit Crohn, kolitis ulserativa)
- Malabsorpsi (dimana tubuh tidak dapat cukup menyerap nutrisi tertentu dari diet)

- Hipertiroidisme
- Beberapa kanker
- penyalahgunaan Laksatif
- Penyalahgunaan alkohol
- Operasi saluran pencernaan
- Diabetes

❖ **Prinsip Terapi**

1. Penggantian cairan (rehidrasi).
2. Kemoterapi
   Untuk terapi kausal yang memusnahkan bakteri penyebab penyakit digunakan obat golongan sulfonamida atau antibiotic.
3. Obstipansia
   Untuk terapi simptomatis dengan tujuan untuk menghentikan diare, yaitu dengan cara:
   - Menekan peristaltik usus (loperamid)
   - Menciutkan selaput usus atau adstringen (tannin)
   - Pemberian absorben untuk menyerap toksin yang dihasilkan oleh bakteri atau toksin penyebab diare yang lain (karbo absorben, kaolin)
   - Pemberian mucilage untuk melindungi selaput lendir usus yang luka
4. Spasmolitik
   Zat yang dapat melemaskan kejang-kejang otot perut (nyeri perut) pada diare.
5. Probiotik
   Untuk meningkatkan daya tahan tubuh. Lactobasillus dan bifidobacteria (disebut Lactid Acid Bacteria/LAB) merupakan probiotik yang dapat menghasilkan antibiotik alami yang dapat mencegah/menghambat pertumbuhan bakteri pathogen. LAB dapat menghasilkan asam laktat yang menyebabkan pH usus menjadi asam. Suasana asam akan menghambat pertumbuhan bakteri pathogen. LAB ini dapat membantu memperkuat dan memperbaiki pencernaan bayi dan mencegah diare.

2. Gastritis

a. Penyebab Gastritis

Gastritis dapat terjadi bila ada ransangan berlebihan pada mucosa karena aktivitas nervus vagus sehingga kelenjar yang memproduksi asam lambung akan teransang. Mucosa juga dapat teriritasi oleh obat seperti aspirin atau steroid.

b. Gejala

- Mual
- Muntah
- Penurunan nafsu makan

- Perut terasa panas
- Gelisah atau terasa penuh dibagian atas perut
- Terasa kram pada perut

c. *Prinsip terapi*
- Terapi dapat dilakukan dengan mengurangi sekresi asam lambung yang berlebihan dengan menggunakan antasida, antagonis reseptor H2 (ranitidin) dan penghambat pompa proton (omeprazol). Juga agen protektif mukosa lambung dapat digunakan seperti sukralfat.
- Dukungan terapi tanpa obat sangat membantu meringankan gejala dan keparahan gangguan seperti merubah gaya hidup dan pola makan yang misalnya mengurangi stress, mengatur jadwal makan, hindari makan makanan yang pedas, kecut. Selain itu juga menghindari penggunaan obat-obat yang dapat memicu atau memperparah gangguan seperti golongan AINS (aspirin) dan steroid.

RINGKASAN

Sistem pencernaan terdiri dari saluran pencernaan (alimentar), yaitu tuba muskular panjang yang membentang dari mulut sampai ke anus, dan organ-organ aksesoris, seperti gigi, lidah, kelenjar saliva, hati, kantung empedu, dan pankreas. Saluran pencernaan yang terletak di bawah area diafragma disebut saluran gastrointestinal (GI).

Fungsi sistem pencernaan. Fungsi utma sistem ini adalah untuk menyediakan makanan, air, dan elektrolit bagi tubuh dari nutrisi yang dicerna sehingga siap diabsorpsi. Pencernaan berlansung secara mekanik dan kimia, dan meliputi proses-proses berikut :

1. Ingesti
2. Pemotongan dan penggilingan
3. Peristalsis
4. Digesti
5. Absorpsi
6. Egesti (defekasi)

Dinding saluran tersusun dari 4 lapisan jaringan dasar dari lumen (rongga sentral) ke arah luar. Komponen lapisan pada setiap regia bervariasi sesuai fungsi regia.

1. Mukosa (membran mukosa)
2. Submukosa
3. Muskularis eksterna
4. Serosa (adventisia)

Peritoneum, mesenterium, dan omentum abdominopelvis adalah membran serosa terlebar dalam tubuh.

1. Peritoneum parietal
2. Peritonium viseral
3. Rongga peritoneal
4. Mesenterium dan omentum
5. Organ yang tidak terbungkus peritoneum, tetapi hanya tertutup olehnya disebut retroperitoneal (di belakang peritoneum).

Kontrol saraf pada saluran pencernaan. Sistem saraf otonom (SSO) mempersarafi keseluruhan saluran saluran pencernaan, kecuali ujung atas dan ujung bawah yang dikendalikan secara volunter.

1. Impuls parasimpatis
2. Impuls simpatis
3. Pleksus Meissner dan Auerbach

Rongga oral adalah jalan masuk menuju sistem pencernaan dan berisi organ eksesori yang berfungsi dalam proses awal pencernaan. Terdiri atas:

1. Bibir
2. Pipi
3. Lidah
4. Kelenjar saliva
5. Gigi

Proses menelan (deglutisi) menggerakkan makanan dari faring menuju esofagus. Aksi penelanan meliputi tiga fase.

1. Fase volunter.
2. Fase faring.
3. Fase esofagus.

Esofagus adalah tuba muskular, panjangnya sekitar 9 sampai 10 inci (25 cm) dan berdiameter 1 inci (2,54 cm). Esofagus berawal pada area laringofaring, melewati diafragma dan hiatus esofagus (lubang) pada area sekitar vertebra toraks kesepuluh, dan membuka kearah lambung. Esofagus menggerakkan makanan dari faring ke lambung melalui gerak peristalsis. Mukosa esofagus memproduksi sejumlah besar mukus untuk melumasi dan melindungi esofagus. Esofagus tidak memperoduksi enzim pencernaan.

Lambung memiliki beberapa fungsi yaitu:

1. Sebagai penyimpanan makanan
2. Memproduksi kimus
3. Digesti protein

4. Memproduksi mukus
5. Produksi faktor intrinsik
   - ✓ Glikoprotein
   - ✓ Vitamin B12
6. Absorbsi

Sekresi lambung terbagi dalam tiga tahap yaitu:
1. Tahap sefalik
2. Tahap lambung
3. Tahap usus

   Usus halus terdiri dari beberapa kelenjar:
   1. Kelenjar-kelenjar usus seperti;
      - ✓ Enzim
      - ✓ Hormon-hormon (Sekretin, CCK, GIP, Peptida usus vasoaktif, substansi P, somatostatin)
   2. Kelenjar penghasil mukus (Sel goblet dan kelenjar Brunner)
   3. Kelenjar enteroendokrin

Bagian-bagian dari usus besar:
1. Sekum
2. Kolon (Asenden, transversa, dan desenden)
3. Rektum

Fungsi usus besar:
1. Mengabsorbsi 80% sampai 90% air dan elektrolit
2. Memproduksi mukus tetapi sekresinya tidak mengandung enzim atau hormon pencernaan
3. Di dalam usus besar terdapat sejumlah bakteri yang mampu mencerna sejumlah kecil selulosa dan memproduksi sedikit kalori nutrien bagi tubuh setiap harinya
4. Mensekresi zat sisa dalam bentuk feses

Diare yaitu penyakit yang ditandai dengan bertambahnya frekuensi buang air besar dari biasanya, yang disertai perubahan bentuk konsistensi feses dari penderita.

Gastritis yaitu peradangan pada mukosa lambung. Gastritis dapat terjadi bila ada ransangan berlebihan pada mucosa karena aktivitas nervus vagus sehingga kelenjar yang memproduksi asam lambung akan teransang. Mucosa juga dapat teriritasi oleh obat seperti aspirin atau steroid.

TES 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Komposisi saliva terdiri terutama dari
   A. Air
   B. Mukus
   C. Amilase
   D. Enzim
   E. Hormon

2) Pernyataan berikut manakah yang paling jelas menggambarkan hubungan mukosa lambung dan vitamin B12 ?
   A. Mukosa lambung mensekresi vitamin B12.
   B. Mukosa lambung menyimpan vitamin B12.
   C. Mukosa lambung mengubah vitamin B12 menjadi vitamin B lain.
   D. Mukosa lambung mensekresi suatu zat yang dapat meningkatkan absorpsi vitamin B12.
   E. Mukosa lambung mengabsorpsi vitamin B12.

3) Lambung berbentuk seperti huruf
   A. “J”
   B. “C”
   C. “C” terbalik
   D. “S”
   E. “Z”

4) Zat yang dapat terabsorpsi di lambung adalah
   A. Lemak
   B. Protein
   C. Alkohol
   D. Karbohidrat
   E. Vitamin dan mineral

5) Kelenjar pilorus pada lambung mensekresikan
   A. Enzim dan asam lambung
   B. HCl dan renin
   C. Pepsin dan renin
   D. Mukus dan gastrin
   E. Mukus dan renin

6) Substansi berikut ini, manakah yang memiliki pH tertinggi?
   A. asam lambung
   B. Empedu dalam kantung empedu
   C. getah pankreas
   D. Saliva
   E. Sekresi kelenjar usus

7) Toksin dan obat yang tidak dapat diurai dan diekskresikan akan di simpan di dalam
   A. Lambung
   B. Hati
   C. Pankreas
   D. Usus besar
   E. Usus halus

8) Pada absorpsi lemak di usus halus, sebelum masuk ke pembuluh darah, lemak akan menuju ke
   A. Kapiler darah
   B. Kelenjar getah bening
   C. Lakteal
   D. Usus besar
   E. Rektum

9) Bakteri di usus besar juga memproduksi vitamin
   A. K
   B. A
   C. C
   D. E
   E. D

10) Agar reaksi nomor empat dapat berlansung
   A. pH harus 2 atau di bawahnya
   B. Garam empedu harus ada
   C. Saliva harus disekresi
   D. Fase lambung pada sekresi lambung harus terjadi
   E. pH harus di atas 2

11) Penyakit yang ditandai dengan bertambahnya frekuensi buang air besar disertai perubahan bentuk konsistensi feses
   A. Gastritis
   B. Diare
   C. Konstipasi

D. Megakolon
E. Varises

12) Penyakit yang memiliki gejala: mual, muntah, penurunan nafsu makan, perut terasa panas, gelisah atau terasa penuh di bagian atas perut, dan terasa kram pada perut
A. Diare
B. Gastritis
C. Konstipasi
D. Megakolon
E. Varises

Topik 2
Sistem Pernafasan

Sistem pernapasan atau juga dikenal sebagai sistem respirasi terdiri dari:

- Paru-paru
- Pembuluh pernapasan bagian atas, yamg memungkinkan masuknya udara atmosfer ke dalam sistem pernapasan, ini melibatkan hidung (dan mulut), laring (dan faring), dan trakea (tenggorokan).
- Saluran udara pernapasan bagian bawah yang memungkinkan lewatnya udara atmosfer ke paru-paru itu sendiri, melibatkan bronkus dan bronkiolus utama.
- Saluran udara pernapasan akhir yang memungkinkan pertukaran gas terjadi, melibatkan bronkiolus pernafasan, kantung alveolar dan alveoli.

Struktur dari sistem pernapasan dapat dilihat pada gambar 1 dan 2a

Berbeda dengan sistem kardiovaskular, yang dibungkus dan tertutup, sistem pernapasan terbuka ke atmosfer untuk memungkinkan asupan udara saat bernafas.

Selama inspirasi (menghirup), udara atmosfer yang mengandung sekitar 21% oksigen ditarik ke dan melalui sistem hidung atau mulut, dan turun ke dalam struktur yang lebih kecil dari paru-paru ke alveoli.

Disini beberapa oksigen ditukar dengan akumulasi gas karbon dioksida (gambar 2 d) yang merupakan produk limbah dari kegiatan metabolisme sel-sel tubuh. Oksigen ditukar diambil dari paru-paru dalam sistem peredaran darah, yang akan digunakan oleh tubuh selama aktivitas selular, sedangkan karbon dioksida akan dilepas dari tubuh selama ekspirasi (menghembuskan nafas).

Mekanisme pertukaran gas adalah fungsi utama dari sistem pernapasan

Pemahaman Klinis

Asap tembakau melumpuhkan silia epitel yang melapisi saluran udara. Akibatnya, lendir dan partikel terperangkap tidak tidak dapat dikeluarkan secara efektif. Iritasi berkepanjangan oleh asap tembakau menyebabkan epitel bersilia diganti dengan epitel skuamosa bertingkat, yang tidak dapat membersihkan saluran udara dari lendir. Sehingga akumulasi lendir menyebabkan batuk perokok dan memberikan tempat bagi pertumbuhan mikroorganisme.

Pertukaran Gas

Fungsi utama dari sistem pernpasan adalah mengambil oksigen dan megeluarkan karbon dioksida. Pertukaran gas ini disebut respirasi dan terjadi antara atmosfer, darah, dan sel dalam fase yang berbeda:

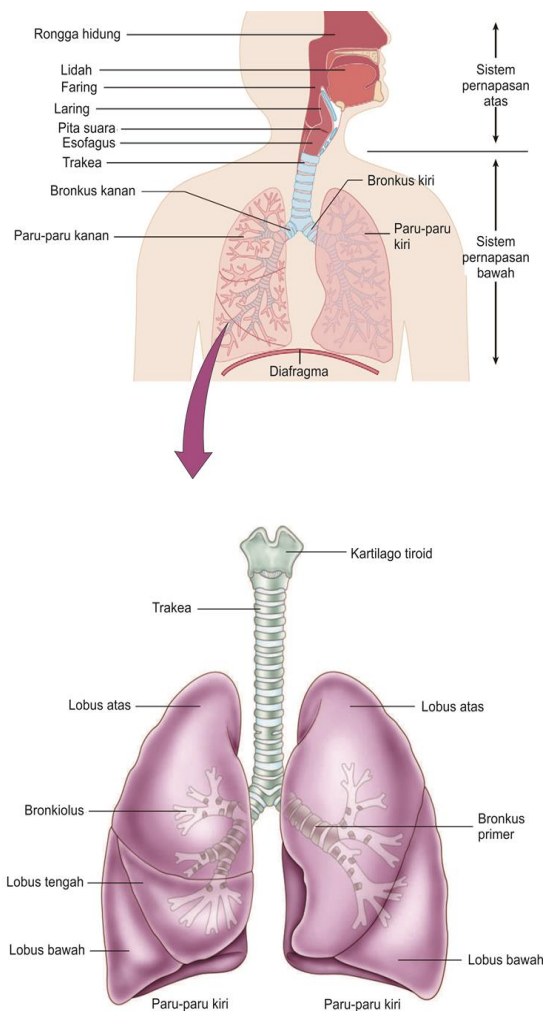
- Ventilasi pumonari. Kata pulmo merujuk ke paru-paru dan ventilasi pulmonari adalah istilah lain untuk pernapasan. Udara dihirup atau ditarik ke dalam paru-paru dan kemudian dikelurkan dari paru-paru
- Respirasi eksternal (respirasi pulmonari). Pertukaran gas yang terjadi antara paru-paru dan darah. Pada respirasi eksternal darah mengambil oksigen dan melepaskan karbon dioksida
- Respirasi internal (respirasi jaringan). Pertukaran gas yang terjadi antara darah dan sel jaringan. Pada respirasi internal darahmelepaskan oksigen dan mengikat karbon dioksida

Catatan: Respirasi seliler (oksidasi) adalah reaksi metabolik yang terjadi dalam sel. Dia menggunakan oksigen dan glukosa dan menghasilkan energi dalam bentuk ATP. Produk sampingan dari respirasi seluler adalah karbob dioksida.

Aliran darah dan mekanisme pertukaran gas dapat dilihat pada gambar 2b, 2c, dan 2c.

Olfaction (penciuman)

Sistem respirasi sekaligus berfungsi dalam penciuman yang merasa bau. Salah satu struknya adalah hidung yang telak disebutkan sebelumnya, yang merupakan rumah dari reseptor penciuman.

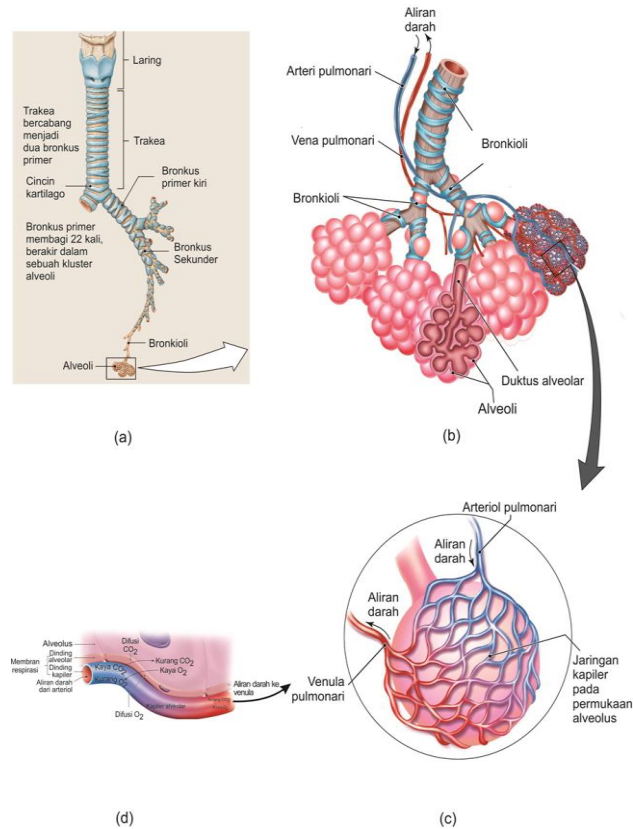
Produksi suara

Getaran partikel udara menghasilkan suara. Ketika kita mengeluarkan udara ke luar, udara melewati laring (kotak suara) dimana terdapat membran khusus yang disebut pita suara. Udara menyebabkan pita suara bergetar dan menghasilkan bunyi yang kemudian diubah menjadi kata oleh otot faring, muka, lidah, dan bibir. Faring, rongga hidung, dan sinus paranasal juga bertindak sebagai tempat resonansi untuk suara.

Ringkasan komponen respirasi dan fungsinya dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini

Tabel 1.
Komponen respirasi dan fungsinya

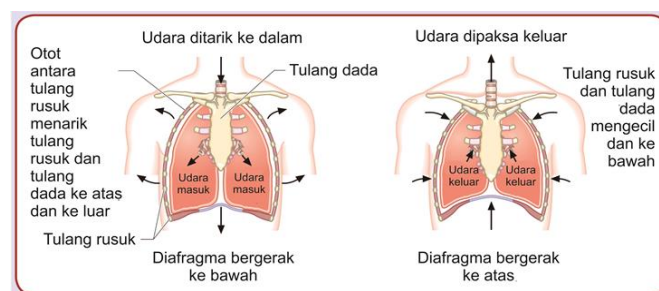
Komponen	Fungsi
Hidung	Lubang hidung memungkinkan udara untuk masuk dan keluar rongga hidung; filter rongga hidung, menghangatkan, dan melembabkan udara yang dihirup
Faring	Membawa udara antara rongga hidung dan laring; filter, menghangatkan, dan melembabkan udara yang dihirup; berfungsi sebagai jalan terusan untuk makanan dari mulut ke kerongkongan; menyetarakan tekanan udara dengan telinga tengah melalui tabung pendengaran

Komponen	Fungsi
Laring	Membawa udara antara faring dan trakea; mengandung pita suara untuk menghasilkan suara dalam vokalisasi; mencegah obyek masuk trakea
Trakea	Membawa udara antara laring dan bronkus; filter, menghangatkan, dan melembabkan udara yang dihirup
Bronkus	Membawa udara antara trakea dan bronkiolus; filter, menghangatkan, dan melembabkan udara yang dihirup
Bronkiolus	Mengatur laju aliran udara melalui bronkokonstriksi dan bronkodilatasi
Alveoli	Memungkinkan pertukaran gas antara udara di alveoli dan darah dalam kapiler sekitarnya

Gambar 1. Paru-paru dan bagian-bagiannya

Gambar 1. (a) Trakea. (b) Alveoli. (c dan d) Mekanisme pertukaran gas di alveoli

A. MEKANISME PERNAPASAN

Selama inspirasi, otot-otot interkostal eksternal ditemukan antara kontraksi rusuk, mengerakkan tulang rusuk ke atas dan keluar. Otot diafragma juga berkontraksi dan membentuk kubah yang datar. Ini meningkatkan ruang di paru-paru dan menyebabkan udara secara otomatis ditarik ke dalam paru-paru.

Selama ekspirasi, otot-otot interkostal eksternal berelaksasi dan tulang rusuk kembali ke posisi istirahat mereka. Diafragma berelaksasi, kembali ke bentuk kubah aslinya. Ini menyebabkan ruang di paru-paru menjadi lebih kecil, memaksa udara keluar dari mereka (Gambar 7.5).

B. MASALAH PERNAPASAN

1. Hipoksia (anoksia)

Adalah defisiensi oksigen, yaitu kondisi berkurangnya kadar oksigen di badingkan kadar normalnya secara fisiologis dalam jaringan dan organ.

a. Hipoksia dapat terjadi akibat insufisiensi oksigen dalam atmosfer ; anemia (insufisiensi sel darah merah); gangguan sirkulasi darah ; penyakit paru; yang mengganggu ventilasi pulmonary ; atau keberadaan zat toksik seperti karbonmonoksida atau siania, di dalam tubuh.

b. Karbon monoksida (CO) adalah zat toksik karena molekul ini berikatan dengan hemoglobin disis yang sama untuk mengikat oksigen. Kecenderungan daya ikatnya terhadap hemoglobin lebih besar 320 kali dibadingan daya ikat hemoglobin oksigen dan pelepasannya lebih lambat. Oleh karena itu sejumlah kecil karbon monoksida dalam udara dapat mematikan.

2. Hiperkapnia

Adalah peningktan kadar $CO2$ dalam cairan tubuh dan sering disertai hipoksia. $CO2$ berlebih meingkatkan respirasi dan konsentrasi yang hidrogen, yang akan menyebabkan asidosis (kadar asam berlebih).

3. Hipokapnia

Adalah penurunan kadar $CO2$ dalam darah, biasanya terjadi akibat hiperventilasi (pernapasan cepat) dan penghembusan $CO2$. penurunan kadar $CO2$menyebabkan terjadinya alkalosis (jumlah bikarbonat berlebih) dalam cairan tubuh.

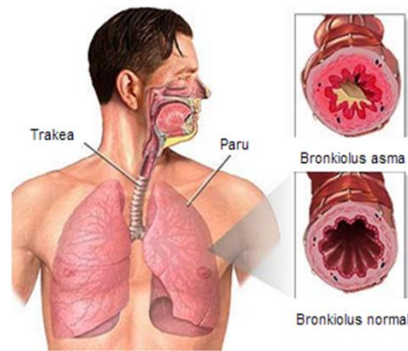
4. Asfisia atau Sufokasi

suatu kondisi hipoksia atau hiperkapnia akibat ketidakcukupan ventilasi pulmonary.

C. KELAINAN DAN GEJALA

1. Asma

a. Pengertian asma

Asma adalah penyakit pernapasan obstruktif yang ditandai inflamasi saluran napas dan spasme akut otot polos bronkiolus. Kondisi ini menyebabkan produksi mukus yang berlebihan dan menumpuk, penyumbatan aliran udara, dan penurunan ventilasi alveolus.

Asma terjadi pada individu tertentu yang berespon secara agresif terhadap berbagai jenis iritan di jalan napas. Faktor risiko untuk salah satu jenis gangguan hiper-reponsif ini adalah riwayat asma atau alergi dalam keluarga, yang mengisyaratkan adanya kecenderungan genetik.

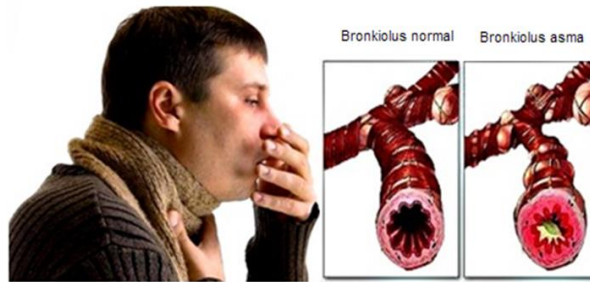
1) Gejala
- Dispnea yang bermakna.
- Batuk, terutama di malam hari.
- Pernapasan yang dangkal dan cepat.
- Mengi yang dapat terdengar pada auskultasi paru. Biasanya mengi terdengar hanya saat ekspirasi, kecuali kondisi pasien parah.
- Peningkatan usaha bernapas, ditandai dengan retraksi dada, disertai perburukan kondisi, napas cuping hidung.

b. Prinsip terapi
- Langkah pertama dalam pengobatan adalah mengevaluasi derajat asma yang di derita individu. Asma dibagi dalam empat stadium, bergantung pada frekuensi gejala dan frekuensi penggunaan obat yang dibutuhkan untuk meredakan gejala. Stadium asma, yaitu (1) ringan dan intermiten, (2) ringan dan persisten, (3) moderat atau sedang, dan (4) berat. Tetapi yang diberikan berdasarkan stadium asma yang diderita pasien.
- Untuk keempat stadium asma, pencegahan terpajan allergen yang telah diketahui adalah tindakan yang penting. Tindakan ini termasuk barang-barang di rumah yang di ketahui memicu alergi seperti mengeluarkan binatang peliharaan, jika perlu menghindari asap rokok dan asap kayu yang terbakar, dan penggunaan air conditioner untuk meminimalkan membuka jendela, terutama selama musim saat udara mengandung banyak serbuk sari.
- Pemantauan laju peak flow yang sering, terutama selama insiden asma meningkat. Jika terpantau penurunan laju peak flow yang signifikan, penambahan intervensi farmakologis harus diberikan sesegera mungkin bukan ditunda sampai serangan terjadi sehingga dapat menghambat kemajuan penyakit.

- Kemajuan penting dalam pencegahan dan pengobatan serangan asma adalah pemakaian kortikosteroid oral atau inhalasi di awal periode serangan atau sebagai terapi pencegahan. Kortikosteroid bekerja sebagai agents anti-inflamasi yang paten. Demikian juga, obat-obat inhalasi yang menstabilkan sel mast digunakan untuk mencegah serangan asma. Efek dari obat yang diinhalasi ini tampaknya terbatas di sistem pernapasan, sehingga obat-obat tersebut aman dan efektif untuk menangani asma. Karena asma merupakan penyakit yang progresi, mempertahankan program terapi sangat penting bahkan pada periode di antara episode serangan asma.
- Bronkodilator yang bekerja sebagai penstimulasi reseptor beta adrenergik di jalan napas (agonis beta) merupakan terapi asma yang utama. Obat ini diinhalasi (atau diberikan dalam bentuk sirup pada anak yang masih sangat kecil) pada saat awitan serangan dan di antara serangan sesuai kebutuhan. Bronkodilator tidak menghambat respon inflamasi sehingga tidak efektif jika digunakan secara tunggal selama eksaserbasi asma sedang atau buruk, penggunaan terlalu sering atau pengguanaan tunggal bronkodilator menyebabkan angka kematian yang bermakna. Saat ini telah tersedia agnosis beta adrenergik jangka panjang yang dapat menurunkan penggunaan inhaler yang sering pada beberapa pasien.
- Kombinasi produk yang mengandung kortikosteroid inhalasi dosis rendah dan agnosis beta-2 lepas lambat tampaknya memperbaiki tingkat kepatuhan dan menurunkan eksaserbasi.
- Agnosis-beta juga dapat digunakan sebelum olahraga pada individu pengidap asma yang dipicu aktivitas fisik berat.
- Meskipun poten dalam terapi pencegahan dan pengobatan asma dan alergi, kortikosteroid tidak memberi efek sintesis dan pelepasan leukotrien. Leukotriene adalah produk metabolism asam arakidonat dan berperan dalam proses inflamasi. Produk leukotrien dapat dicegah dengan penggunaan inhibitor 5-lipoksigenase (zileuton) atau dengan menghambat reseptor leukotrien spesifik menggunakan leukotriene receptor antagonist (LTRA) seperti montelukast atau zafirlukast. Menifestasi obat LTRA memiliki sifat bronkodilator dan anti-inflamasi, serta mungkin digunakan untuk menunjang kortikosteroid.
- Obat antikolinergik dapat diberikan untuk mengurangi efek parasimpatis sehingga melemaskan otot polos bronkiolus. Akan tetapi, obat ini memiliki rentang keamanan terapeutik yang sempit sehingga jarang digunakan dalam praktik umum.
- Intervensi perilaku, yang ditujukan untuk menenangkan pasien agar stimulus perasimpatis ke jalan napas berkurang, juga merupakan tindakan yang penting. Jika individu berhenti menangis akan memungkinkan aliran udara yang lambat dan sempat dihangatkan, sehingga rangsangan terhadap jalan napas berkurang.

2. Bronkitis Akut

a. Pengertian bronkitis akut

Bronkitis adalah penyakit pernapasan obstruktif yang sering dijumpai yang disebabkan inflamasi pada bronkus. Penyakit ini biasanya berkaitan dengan infeksi virus atau bakteri atau inhalasi iritan seperti asap rokok dan zat-zat kimia yang ada didalam polusi udara. Penyakit ini memiliki karakteristik produksi mukus yang berlebihan.

b. Gejala

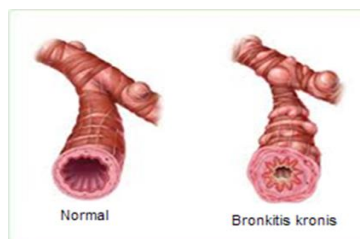
- Batuk, biasanya produktif dengan mukus kental dan sputum purulent.
- Dispnea.
- Demam.
- Suara serak.
- Ronki (bunyi paru diskontinu yang halus atau kasar), terutama saat inspirasi.
- Nyeri dada yang kadang timbul.

c .Prinsip terapi

- Antibiotik untuk mengobati infeksi bakteri primer atau sekunder.
- Peningkatan asupan cairan dan ekspektoran untuk mengencerkan sputum.
- Istirahat untuk mengurangi kebutuhan oksigen.

3. Bronkitis Kronis

a. Pengertian bronkitis kronis

Bronchitis kronis adalah gangguan paru obstruktif yang ditandai produksi mukus berlebihan di saluran napas bawah dan menyebabkan batuk kronis. Kondisi ini terjadi selama setidaknya 3 bulan berturut-turut dalam setahun untuk 2 tahun berturut-turut.

Mukus yang berlebihan terjadi akibat perubahan patologis (hipertrofi dan hiperplasia)sel-sel menghasilkan mukus di bronkus. Selain itu, silia yang melapisi bronkus mengalami kelumpuhan atau disfungsional serta metaplasia. Perubahan pada sel penghasil mukus dan sel silia ini mengganggu sistem eskalator mukosiliaris dan menyebabkan akumulasi mukus kental dalam jumlah besar yang sulit dikeluarkan dari saluran napas. Mukus berfungsi sebagai tempat perkembangan mikroorganisme penyebab infeksi dan menjadi sangat purulent. Proses inslamasi yang terjadi menyebabkan edema dan pembengkakan jaringan serta perubahan arsitektur di paru. Ventilasi, terutama ekshalasi/ekspirasi, terhambat. Hiperkapnia (peningkatan karbondioksida) terjadi, karena ekspirasi memanjang dan sulit dilakukan akibat mukus yang kental dan adanya inflamasi .penurunan ventilasi menyebabkan rasio ventilasi: perfusi, yang mengakibatkan vasokontriksi hipoksik paru dan hipertensi paru. Walaupun alveolus normal, vasokontriksi hipoksis dan buruknya ventilasi menyebabkan penurunan pertukaran oksigen dan hipoksia.

Risiko utama berkembangnya bronkitis kronis adalah asap rokok. Komponen asap rokok menstimulus perubahan pada sel-sel penghasil mukus bronkus dan silia. Komponen-komponen tersebut juga menstimulasi inflamasi kronis, yang merupakan ciri khas bronkitis kronis.

b. Gejala

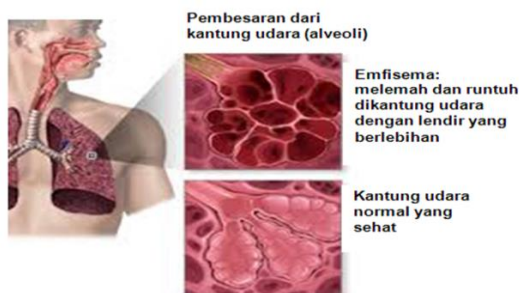
- Batuk yang sangat produktif, purulen, dan mudah memburuk dengan inhalasi iritan, udara dingin, atau infeksi.
- Produksi mukus dalam jumlah sangat banyak.
- Sesak napas dan dispnea.

c. Prinsip terapi

- Penyuluhan kesehatan agar pasien menghindari pajanan iritan lebih lanjut, terutama asap rokok.
- Terapi antibiotik profilaktik, terutama pada musim dingin, untuk mengurangi insiden infeksi saluran napas bawah, karena setiap infeksi akan semakin meningkatkan pembentukan mukus dan pembengkakan.
- Karena banyak pasien yang mengalami spasme saluran napas akibat bronkitis kronis yang mirip dengan spasme pada asma kronis, individu sering diberikan bronkodilator.
- Obat anti-inflamasi menurunkan produksi mukus dan mengurangi sumbatan.
- Ekspektoran dan peningkatan asupan cairan untuk mengencerkan mukus.
- Mungkin diperlukan terapi oksigen.
- Vaksinasi terhadap pneumonia pneumokokus sangat dianjurkan.

4. Penyakit Paru Obstruktif Kronis

a. Pengertian penyakit obstruktif kronis

Individu yang mengidap emfisema kronis biasanya juga menderita bronkitis kronis dan memperlihatkan tanda-tanda kedua penyakit. Keadaan ini disebut penyakit paru obstruktif kronis (PPOK, chronic obstructive pulmonary disease). Asma kronis yang berkaitan dengan emfisema atau bronkitis keonis juga dapat menyebabkan PPOK.

b. Gejala

- akan dijumpai gejala-gejala dari kedua penyakit, emfisema dan bronkitis kronis.
- Dispnea yang konstan.

c. Prinsip terapi

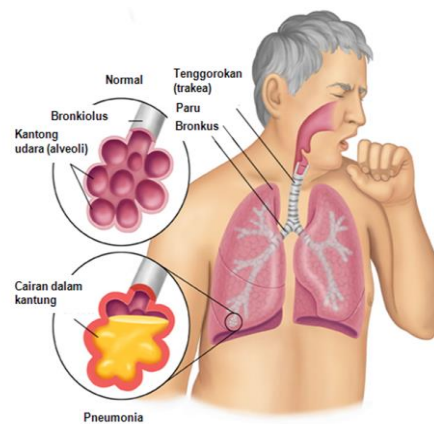
- Long-acting beta-2 agonist (LABA) atau agonis beta-2 yang bekerja lebih lama dibandingkan dengan agonis beta-2yang bekerja cepat, memiliki potensi untuk memperbaiki bersihan mukosiliaris dan bekerja sebagai bronkodilator. Terapi kombinasi terdiri dari LABA dan kortikosteroid inhalasi memberi aktivitas anti-inflamasi dan memperbaiki bersihan mukosiliaris.
- Penatalaksanaan untuk PPOK pada umumnya sama seperti pada bronkitis kronis dan emfisema, dengan pengecualian bahwa terapi oksigen harus dipantau secara ketat. Individu pengidap PPOK mengalami hiperkapnia kronis yang menyebabkan adaptasi kemoreseptor-kemoreseptor sentral, yang dalam keadaan normal berespon terhadap karbon dioksida. Faktor yang menyebabkan pasien terus bernapas adalah rendahnya konsentrasi oksigen di dalam darah arteri yang terus menstimulasi kemoreseptor-kemareseptor perifer yang relatif kurang peka. Kemoreseptor perifer ini hanya aktif melepaskan muatan apabila tekanan persial oksigen arteri menurun kurang dari 50 mmHg. Dengan demikian, apabla terapi oksigen bertujuan untuk membuat tekanan persial oksigen lebih dari 50 mmHg, dorongan untuk bernapas yang tersisa ini akan hilang. Pengidap PPOK biasanya memiliki kadar oksigen yang sangat rendah dan tidak dapat diberi terapi oksigen tinggi. Hal ini sangat memengaruhi kualitas hidup.
- Penghambat fosfodiesterase 4 (PDE4) merupakan kelas obat paten dan menjanjikan yang mengendalikan proses inflamasi pada pasien pengidap PPOK

dengan menurunkan jumlah makrofag sel T CD8+ dan CD68+ serta neutrfil di mukosa bronkus.

5. Batuk

a. Pengertian batuk

Tubuh manusia memiliki sistem pertahanan untuk melawan gangguan dari luar. Salah satunya adalah batuk. Batuk adalah respons alami yang dilakukan tubuh untuk membersihkan lendir atau faktor penyebab iritasi, seperti debu atau asap, agar keluar dari saluran pernapasan kita.

Batuk umumnya akan sembuh dalam waktu tiga minggu dan tidak membutuhkan pengobatan. Keefektifan obat batuk masih belum terbukti sepenuhnya. Ramuan buatan sendiri seperti air madu dan lemon bisa membantu meringankan batuk ringan.

b. Gejala

- Suara lengkingan di setiap tarikan napas dalam-dalam setelah batuk.
- Batuk bertubi-tubi dan intens yang mengeluarkan dahak kental.
- Kelelahan dan wajah merah karena terus batuk.
- Muntah pada bayi dan anak-anak.

c. Prinsip terapi

1. Terapi non farmakologi (tanpa menggunakan obat)

   Pada umunya batuk berdahak maupun tidak berdahak daat dikurangi dengan cara sebagai berikut:

   - Memperbanyak minum air putih untuk membantu mengencerkan dahak, mengurangi iritasi dan rasa gatal.
   - Menghindari paparan debu, minuman atau makanan yang merangsang tenggorokan seperti makanan yang berminyak dan minuman dingin.
   - Menghindari paparan udara dingin.
   - Menghindari merokok dan asap rokok karena dapat mengiritasi tenggorokan sehingga dapat memperparah batuk.

- Menggunakan zat – zat Emoliensia seperti kembang gula, madu, atau permen hisap pelega tenggorokan. Ini berfungsi untuk melunakkan rangsangan batuk, dan mengurangi iritasi pada tenggorokan dan selaput lendir.

2. Terapi farmakologi (dengan menggunakan obat)
   Pengobatan batuk harus diberikan berdasarkan jenis batuknya, apakah termasuk jenis batuk berdahak atau batuk kering. Hal ini penting agar obat yang digunakan tepat untuk sesuai dengan tujuan terapinya. Terapi farmakologi (dengan obat) pada batuk dapat dilakukan dengan menggunakan obat-obat sebagai berikut :
   a. Antitusif
      Antitusif digunakan untuk pengobatan batuk kering (batuk non produktoif). Golongan obat ini bekerja sentral pada susunan saraf pusat dengan cara menekan rangsangan batuk dan menaikkan ambang rangsang batuk. Obat golongan ini tidak sesuai bila digunakan untuk batuk yang berdahak, karena akan menyebabkan dahak menjadi kental dan susah dikeluarkan. Contoh obat golongan ini adalah codein, dekstrometorfan, noskapin, prometazin, difenhidramin.

   b. Ekspektoran
      Ekspektoran digunakan untuk batuk berdahak. Golongan obat ini bekerja dengan cara meningkatkan sekresi cairan saluran pernafasan sehingga kekentalan dahak menjadi berkurang akibatnya dahak akan mudah dikeluarkan. Obat golongan ini tidak sesuai bila digunakan untuk batuk kering karena akan menyebabkan frekuensi batuk menjadi meningkat. Contoh obat golongan ini adalah guaifenesin (gliseril guaikolat), Amonium klorida, OBH.

   c. Mukolitik
      Mukolitik digunakan untuk batuk dengan dahak yang kental sekali, seperti batuk pada bronchitis dan emfisema. Golongan obat ini bekerja dengan jalan memutus serat-serat mukopolisakarida atau membuka jembatan disulfide diantara makromolekul yang terdapat pada dahak sehingga kekentalan dahak akan menjadi berkurang, akibatnya dahak akan mudah dikeluarkan. Contoh obat golongan ini adalah N-asetilsistein, karbosistein, ambroksol, bromheksin dan erdostein.

RINGKASAN

1) Fungsi sistem pernapasan adalah untuk mengambil oksigen (O2) dari atmosfer ke dalam sel-sel tubuh dan untuk mentransport karbon dioksida (CO2) yang dihasilkan sel-sel tubuh kembali ke atmosfer. Organ-organ (respiratorik) juga berfungsi dalam

produksi bicara dan berperan dalam keseimbangan asam basa, pertahanan tubuh melawan benda asing, dan pengaturan hormonal tekanan darah.

2) Respirasi melibatkan proses berikut:
- Ventilasi pulmonar
- Respirasi eksternal
- Respirasi internal
- Respirasi Saluran pernapasan

a) Pertukaran gas pulmonar

Pertukaran gas pulmonar	Penjelasan
Membran respirasi	tempat berlangsungnya pertukaran gas, terdiri dari lapisan sulfaktan, epitelium skuamosa simple pada dinding alveolar, membrane dasar paada dinding alveolar, ruang interstisial yang mengandung serabut jaringan ikat dan cairan jaringan, membran dasar kapilar, dan endotelium kapilar.
Faktor yang mempengaruhi difusi gas selain gradien tekanan parsialnya antara lain:	Ketebalan membran respirasi. Area permukaan membran respirasi. Solubilitas gas dalam membran respirasi.

b) Transfor gas melalui darah

Transpor gas melalui darah	Penjelasan
Transport oksigen	Sekitar 97% oksigen dalam darah dibawa eritrosit yang telah berkaitan dengan hemoglobin (Hb), 3% oksigen sisanya larut dalam plasma
Transfor karbondioksida	Karbondioksida yang berdifusi ke dalam darah dan jaringan dibawah ke paru-paru melalui cara berikut ini : sejumlah kecil karbon dioksida (7% sampai 8%) tetap terlarut dalam plasma. karbondioksida yang tersisa bergerak kedalam sel darah merah, dimasa 25%-nya membentuk karbaminohemoglobin. sebagian besar karbondioksida dibawah dalam bentuk bikarbonat terutama dalam plasma.

TES 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Saluran yang digunakan untuk sistem pernapasan dan sistem pencernaan adalah?
   A. faring
   B. trakea
   C. rongga nasal
   D. esophagus.

2) Cincin kartilago berbentuk C pada trakea berfungsi untuk mencegah pengempisan trakea dan juga untuk?
   A. menyediakan permukaan untuk pertukaran gas
   B. memungkinkan ekspansi esofagus saat menelan
   C. mengeluarkan benda asing dari jalan udara
   D. meminimisasi pembentukan mukus.

3) Manakah dari berikut ini yang memiliki diameter terkecil?
   A. bronkus primer kanan
   B. bronkus primer kiri
   C. brokiolus respiratori
   D. bronkiolus.

4) Rongga intrapeura adalah?
   A. mediastinum
   B. secara normal berisi darah
   C. ruang potensial berisi cairan
   D. sisi pertama difusi oksigen.

5) Jika rongga toraks mengembang ke arah superior-inferior dan ke anterior-posterior, maka?
   A. diafragma terkontraksi
   B. glotis tertutup
   C. tekanan udara dalam alveoli meningkat
   D. tekanan intrapelura meningkat.

6) Di perkotaan, berton-ton karbon monoksida teremisi ke dalam atmosfer setiap hari akibat lalu lintas normal. Berikut ini merupakan alasan mengapa tingkat polusi yang demikian dapat membahayakan kesehatan masyarakat, *KECUALI*?
   A. karbon monoksida dan oksigen bersaing untuk sisi pengikat yang sama pada hemoglobin

B. karbon monoksida mengurangi kadar oksigen terlarut dalam plasma
C. terkandung dalam 100 ml darah
D. karbon monoksida dapat mematikan karena menggangu kapasitas darah untuk menghantarkan oksigen ke jaringan.

7) Pergeseran klorida terjadi saat?
A. oksigen dilepas dari hemoglobin
B. oksigen berikatan dengan hemoglobin
C. ion bikarbonat meninggalkan sel darah merah
D. asam karbonat berikatan dengan air untuk membentuk asam karbonat.

8) Trakea dilapisi epithelium respiratorik (kolumnar bertingkat dan bersilia) yang mengandung banyak sel, apa nama sel tersebut?
A. Sel olfaktori
B. Sel pleura
C. Sel goblet
D. Inti sel

9) Pleura yang melapisi rongga toraks adalah?
A. Resesusu pleura
B. Rongga pleura
C. Pleura viseral
D. Pleura parietal

10) Otot berbentuk kubah yang jika sedang relaks akan memipih saat berkontraksi dan memperbesar rongga toraks ke arah inferiordisebut ?
A. Tulang iga
B. Toraks
C. Diafragma
D. Paru-paru
E. Sternum

Kunci Jawaban Tes

Tes 1
1) A
2) D
3) A
4) C
5) A
6) A
7) B
8) C
9) A
10) B
11) B
12) B

Tes 2
1) A
2) B
3) C
4) C
5) A
6) B
7) C
8) C
9) D
10) C

Daftar Pustaka

Gerard Tortora, 2014, Principles of Anatomy and Physiology,.

Sanders Tina, Scanlon Valerie, 2006, Essentials of Anatomy and Physiology

Saladin, 2003, Anatomy and Physiology – The Unity of Form and Function.

Rizzo C Donald, 2015, Fundamentals of Anatomy and Physiology.

Marieb Elaine Nicpon, 2013, Human Anatomy and Physiology

Seeley's, 2014, Anatomy & Physiology, Ed. Ke-10.

Gunstream Stanley, 2015, Anatomy and Physiology with Integrated Study.

Carson, The Anatomy and Physiology Learning System (4E).

Rodney Rhoades, David R Bell, 2013, Medical physiology principles for clinical medicine.

Sue Longenbaker, 2010, Understanding Human Anatomy and Physiology Ed. Ke-7.

Sherwood, L . 2001, Fisiologi Manusia Dari Sel ke Sistem (terjemahan), Edisi 2. Jakarta, ECG

Eleine Nicpon Mareib, 2013, Human anatomy and Physicology.

Phillip E. Pack, 2007, Cliffs Anatomy and Phisiology, New York.

BAB VI
SISTEM PERKEMIHAN

Raimundus Chaliks, S.Si. M.Sc. Apt.

PENDAHULUAN

Seperti yang kita ketahui selama ini tubuh manusia seperti suatu mesin yang hidup. Seperti halnya dengan mesin yang lain, tubuh manusia membakar bahan bakar (makanan) dan selalu memerlukan persediaan oksigen, air, serta berbagai bahan makanan. Dengan segera tubuh menggunakannya untuk tenaga, dan untuk memperbaiki jaringan-jaringan yang rusak. Proses ini dinamakan metabolisme, disaat yang sama, banyak sekali sampah yang dibuang melalui paru-paru dalam bentuk karbon dioksida dan sampah- sampah lain yang dibuang melalui air seni. Ginjal adalah salah satu alat eksresi pada manusia. Pada sistem perkemihan, ginjal berperan besar dalam pengeluaran zat- zat sisa metabolisme melalui urin.

Oh iya, kalian tahu tidak apa saja fungsi dari ginjal? Bagaimana sih anatomi dari ginjal? Selain ginjal apa saja yang berperan dalam sistem perkemihan? Penasarankan? Kalau begitu mari sama- sama kita belajar dan memahami tentang sistem perkemihan.

Topik 1
G i n j a l

Sistem perkemihan/urinaria (ginjal) terdiri dari organ-organ yang memproduksi urin dan mengeluarkan dari tubuh. Sistem ini merupakan salah satu sistem utama mempertahankan homeostatis (kekonsistenan lingkungan internal)

A. KOMPONEN

Sistem urinaria terdiri dari dua ginjal yang memproduksi urin; dua ureter yang membawa urin ke dalam sebuah kandung kemih untuk penampungan sementara, dan uretra yang mengalirkan urin keluar tubuh memlalui orifisium uretra eksterna.

B. FUNGSI GINJAL

1. Pengeluaran zat sisa organik. Ginjal mengeskresi urea, asam urat, kreatinin, dan produk penguraian hemoglobin dan hormon.
2. Pengaturan konsentresi ion-ion penting. Ginjal mengekskresi ion natrium, kalium, kalsium, magnesium, sulfat, dan fosfat. Ekskresi in-ion ini seimbang dengan asupan dan ekskresinya melalui rute lain, seperti pada saluran gastrointestinal atau kulit.
3. Pengaturan keseimbangan asam-basa tubuh. Ginjal mengendalikan ekskresi ion hidrogen (H+), bikarbonat (HCO3-), dan ammonium (NH4+) serta memproduksi urin asam atau basa, bergantung pada kebutuhan tubuh.
4. Pengaturan produksi sel darah merah. Ginjal melepas eritropoietin,yang mengatur produksi sel darah merah dalam sumsum tulang.
5. Pengaturan tekanan darah. Ginjal mengatur volume cairan yang esensial bagi pangaturan tekanan darah, dan juga memproduksi enzim renin. Renin adalah komponen penting dalam mekanisme renin-angiotensin-aldosteron, yang meningkatkan tekanan darah dan retensi air.
6. Pengendalian terbatas terhadap konsentrasi glukosa darah dan asam amino darah. Ginjal, melalui ekskresi glukosa dan asam amino berlebih, bertanggung jawab atas konsentrasi nutrien dalam darah.
7. Pengeluaran zat beracun. Ginjal mengeluarkan polutan, zat tambahan makanan, obat-obatan, atau zat kimia asing lain dari tubuh.

C. ANATOMI KASAR GINJAL

1. Tampilan. ginjal adalah organ berbentuk seperti kacang berwarna merah tua, panjangnya sekitar 12,5 cm (kurang lebih sebesar kepalan tangan). Setiap ginjal

memiliki berat antara125 samapai 175 g pada laki-laki dan 115sampai 155 g pada perempuan.

2. Lokasi
   a. Ginjal terletak di area yang tinggi, yaitu pada dinding abdomen posterior yang berdekatan dengan dua pasang iga terakhir. Organ ini merupakan organ retroperietoneal dan terletak di antara otot-otot punggung dan peritoneum rongga abdomen atas. Tiap-tiap ginjal memiliki sebuah kelenjar adrenal di atasnya.
   b. Ginjal kanan terletak agak dibawah dibandingkan ginjal kiri karena ada ahti pada sisi kanan.
3. Jaringan ikat pembungkus. Setiap ginjal diselubungi tiga lapisan jaringan ikat.
   a. Fasia renal adalah pembungkus terluar. Pembungkus ini melabuhkan ginjal pada struktur di sekitarnya dan mempertahankan posisi organ.
   b. Lemak perirenal adalah jaringan adipose yang terbungkus fasia ginjal. Jaringan ini membantali ginjal dan membantu organ tetap pada posisinya.
   c. Kapsul fibrosa (ginjal) adalah membran halus transparan yang langsung membungkus ginjal dan dapat dengan mudah dilepas.

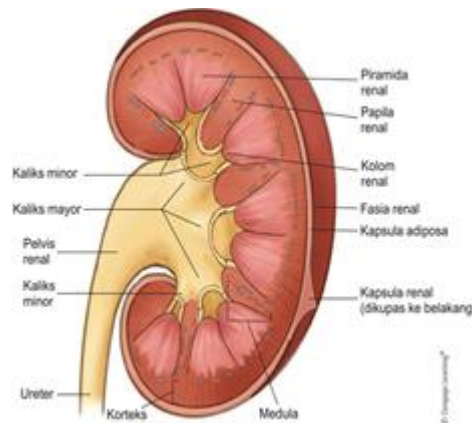
D. STRUKTUR INTERNAL GINJAL (GAMBAR1)

1. Hilus (hilum) adalah tingkat kecekungan tepi medial ginjal.
2. Sinus ginjal adalah rongga berisi lemak yang membuka pada hilus. Sinus ini membentuk perlekatan untuk jalan masuk dan keluar ureter,vena dan arteri renalis,saraf dan limfatik.
3. Pelvis ginjal adalah perluasan ujung proksimal ureter. Ujung ini berlanjut menjadi dua sampai tiga kaliks mayor, yaitu rongga yang mencapai glandular, bagian penghasil urin pada ginjal. Setiap kaliks mayor bercabang menjadi beberapa (8 sampai 18) kaliks minor.
4. Parenkim ginjal adalah jaringan ginjal yang menyelubungi struktur sisnus ginjal. Jaringan ini terbagi medula dalam dan korteks luar.
   a. Medulla terdiri dari massa-massa triangular yang disebut piramida ginjal. Ujung yang sempit dari setiap piramida, papila, masuk dengan pas dalam kaliks minor dan ditembus mulut duktus pengumpul urin.
   b. Korteks tersusun dari tubulus dan pembuluh darah nefron yang merupakan unit struktural dan fungsional ginjal. Korteks terletak di dalam di antara piramida-piramida medulla yang berseblahan untuk membentuk kolumna ginjal yang terdiri dari tubulus-tubulus pengumpul yang mengalir kedalam duktus pengumpul.
5. Ginjal terbagi-bagi lagi menjadi lobus ginjal. setiap lobus terdiri dari satu piramida ginjal, kolumna yang saling berdekatan, dan jaringan korteks yang melapisinya.

1. Struktur nefron

Satu ginjal mengandung lebih dari 1 juta nefron yang merupakan unit pembentuk urin. Setiap nefron memiliki satu komponen vascular (kapiler) dan satu komponen tubular. Gambar 2 menunjukkan struktur dari nefron

2. Glomerulus

Adalah gulungan kapiler yang dikelilingi kapsul epitel berdinding ganda disebut kapsul Bowman. Glomerulus dan kapsul Bowman bersama-sama membentuk sebuah korpuskel ginjal.

Gambar 1. Anatomi internal Ginjal

a. Lapisan viseral kapsul Bowman adalah lapisan internal epitelium. Sel-sel lapisan viseral dimodifikasi menjadi podosit ("sel seperti kaki"), yaitu sel-sel epitel khusus di sekitar kapiler glomerular.
   1) Setiap sel podosit melekat pada permukaan luar kapiler glomerular melalui bebrapa prosesus primer panjang yang mengandung prosesus sekunder yang disebut prosesus kaki atau pedikel ("kaki kecil")
   2) Pedikel berinterdigitasi (saling mengunci) dengan prosesus yang sama dari podosit tetangga. Ruang sempit antar pedikel-pedikel yang berinterdigitasi disebut filtration slits (pori-pori dari celah) yang lebarnya sekitar 25 nm. Setiap pori dilapisi selapis membrane tipis yang memungkinkan aliran beberapa molekul dan menahan aliran molekul lainnya.
   3) Barrier filtrasi glomerular adalah barrier jaringan yang memisahkan darah kapiler glomerular dari ruang dalam kapsul Bowman. Barrier ini terdiri dari endotelium kapiler, membran dasar (lamina basalis) kapiler, dan filtration slit.

b. Lapisan parietal kapsul Bowman membentuk tepi terluar korpuskel ginjal.
   1) Pada kutub vaskular korpuskel ginjal, arteriola aferen masuk ke glomerulus dan arteriol eferen keluar dari glomerulus.

2) Pada kutub urinarius korpuskel ginjal, glomerulus memfiltrasi aliran yang masuk ke tubulus kontortus proksimal.

3. Tubulus kontortus proksimal,

Panjangnya mencapai 15 mm dan sangat berliku. Pada permukaan yang menghadap ke lumen tubulus ini terdapat sel-sel epitelial kuboid yang kaya akan mikrovilus (*brush border*) dan memperluas area permukaan lumen.

4. Ansa Henle

Tubulus kontortus proksimal mengarah ke tungkai desenden ansa Henle yang masuk kedalam medula, membentuk lengkungan jepit yang tajam (lekukan), dan membalik ke atas membentuk tungkai asenden ansa Henle.

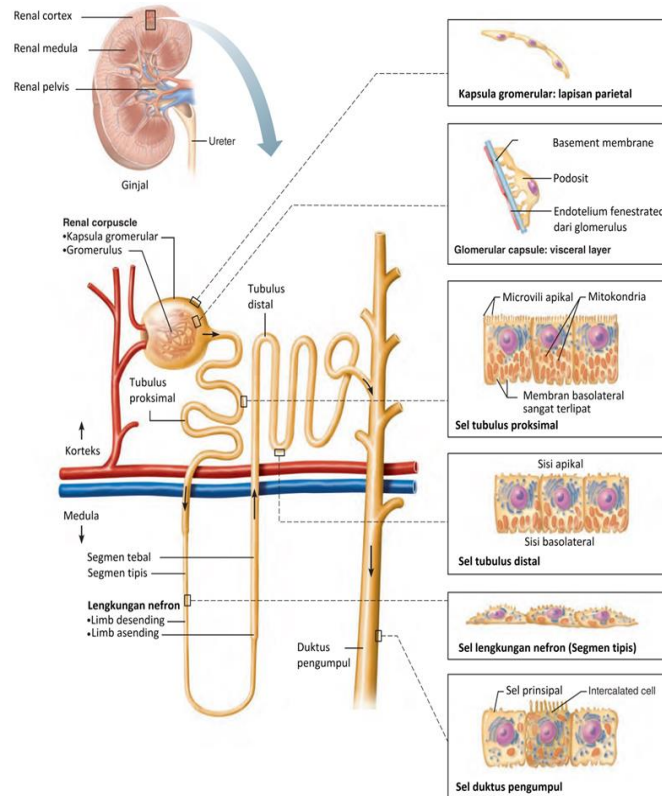
a. Nefron korteks terletak dibagian terluar korteks. Nefron ini memiliki lekukan pendek yang memanjang ke sepertiga bagian atas medula.
b. Nefron jukstamedular terletak didekat medula. Nefron ini memiliki lekukan panjang yang menjulur kedalam piramida medula.

5. Tubulus kontortus distal

Juga sangat berliku, panjangnya sekitar 5mm dan membentuk dan membentuk segmen terakhir nefron.

a. Disepanjang jalurnya, tubulus ini bersentuhan dengan dinding arteriol aferen. Bagian tubulus yang bersentuhan dengan arteriol mengandung sel-sel termodifikasi yang disebut macula densa. Macula densa berfungsi sebagai suatu kemoreseptor dan distimulasi oleh penurunan ion natrium.
b. Dinding arterial aferen yang bersebelahan dengan macula densa mengandung sel-sel otot polos termodifikasi yang disebut sel jukstaglomerular. Sel ini distimulasi melalui penurunan tekanan darah untuk memproduksi renin.
c. Macula densa, sel jukstaglomerular, dan sel mesangiumsaling bekerja sama untuk membentuk apparatus jukstaglomerular yangf penting dalam pengaturan tekanan darah.

6. Tubulus dan duktus pengumpul.

Karena setiap tubulus pengumpul berdesenden di korteks, maka tubulus tersebut akan mengalir ke sejumlah tubulus kontortus distal. Tubulus pengumpul membentuk duktus pengumpul besar yang lurus. Duktus pengumpul membentuk tuba yang lebih besar yang mengalirkan urin ke kaliks minor. Kaliks minor bermuara ke dalam pelvis ginjal melalui kaliks mayor. Dari pelvis ginjal, urin dialirkan ke ureter yang mengarah ke kandung kemih.

Gambar 2. Tampilan skematik dari nefron menggambarkan karakteristik struktur dari sel epitel membentuk berbagai areanya

E. SUPLAI DARAH

1. **Arteri renalis** adalah percabangan aorta abdomen yang mensuplai masing-masing ginjal dan masuk ke hilus melalui cabang anterior dan posterior.
2. Cabang anterior dan posterior arteri renalis membentuk **arteri-arteri interlobularis** yang mengalir di antara piramida-piramida ginjal.
3. **Arteri arkuata** berasal dari arteri intrlobaris pada area pertemuan antara korteks dan medula.
4. **Arteri interlobularis** merupakan percabangan arteri arkuata disudut kanan dan melewati korteks.
5. **Arteriol aferen** berasal dari arteri interlobularis. Satu arteriol aferen membentuk sekitar 50 kapiler yang membentuk **glomerulus.**
6. **Arterial eferen** meninggalkan setiap glomerulus dan membentuk jaring-jaring kapiler lain, **kapiler peritubular** yang mengelilingi tubulus kontrtus distal dan proksimal untuk memberi nutrient pada tubulus tersebut dan mengeluarkan zat-zat yang direabsorpsi.
   a. Arteriol eferen dari glomerulus nefron korteks **memasuki jaring-jaring kapiler peritubular** yang mengelilingi tubulus kontortus distal dan proksimal pada nefron tersebut.

b. Arteriol eferen dari glomerulus pada nefron juksta glomerulus memiliki perpanjangan pembuluh kapiler panjang yang lurus disebut **vasa recta** yang berdesenden kedalam piramida medula. Lekukan vasa recta membentuk lengkungan jepit yang melewati ansa Henle. Lengkungan ini memuyngkinkan terjadinya pertukaran zat antara ansa Henle dan kapiler serta memegang peranan dalam knsentrasi urin.

7. Kapiler peritubular mengalir ke dalam **vena korteks** yang kemudian menyatu dan membentuk vena intrlobularis.
8. **Vena arkuata** menerima darah dari vena interlobularis. Vena akuata bermuara ke dalam **vena interlobaris** yang bergabung untuk bermuara ke dalam vena renalis. Vena ini meninggalkan ginjal untuk bersatu dengan vena kava inferior.

1. Pembentukan Urin

Ginjal memproduksi urin yang mengandung zat sisa metabolik dan mengatur komposisi cairan tubuh melalui tiga proses utama :

a. Filtrasi glomerulus

1. **Definisi**. Filtrasi glomerulus adalah perpindahan cairan dan zat terlarut dari kapiler glomerular, dalam gradien tekanan tertentu ke dalam kapsul Bowman. Filtrasi ini dibantu oleh factor berikut :
   a. **Membrane kapiler glomerular lebih permeable** dibandingkan kapiler lain dalam tubuh sehingga filtrasi filtrasi berjalan dengan sangat cepat.
   b. **Tekanan darah dalam kapiler glomerular lebih tinggi** dibandingkan tekanan darah dalam kapiler lain karena diameter arteriol eferen lebih kecil dibandingkan diameter aferen.

2. Mekanisme filtrasi glomerular
   a. **Tekanan hidrostatik (darah)** gromerular mendorong cairan dan zat terlarut keluar dari darah dan masuk ke ruang kapsul Bowman.
   b. Dua tekanan yang berlawanan dengan tekanan hidrostatik gromerular.
      1) **Tekanan hidrostatik dihasilkan oleh cairan dalam kapsul Bowman**. Tekanan ini cenderung untuk menggerakkan cairan keluar dari kapsul menuju glomerulus
      2) **Tekanan osmotik koloid dalam gromerulus** yang dihasilkan oleh protein plasma adalah tekanan yang menarik cairan dari kapsul Bowman untuk memasuki glomerulus.
   c. **Tekanan filtrasi efektif** (effective filtration force [EFP]) adalah tekanan dorong **netto**. Tekanan ini adalah selisih antara tekanan yang cenderung mendorong cairan keluar dari glomerulus menuju kapsul Bowman EFP = (tekanan hidrostatik glomerular) – (tekanan kapsular) + (tekanan osmotik koloid glomerular).

3. **Laju filtrasi glomerular (glomerular filtration rate [GFR]) adalah jumlah filtrat yang terbentuk per menit** pada semua nefron dari kedua ginjal. Pada laki-laki, laju filtrasi ini sekitar 125 ml/menit atau 180 L dalam 24 jam; pada perempuan 110 ml/menit.

4. Faktor yang mempengaruhi GFR
   a. **Tekanan filtrasi efektif.** GFR berbanding lurus dengan ESP dan perubahan tekanan yang terjadi akan mempengaruhi GFR. Derajat konstriksi arteriol aferen dan eferen menentukan aliran darah ginjal., dan juga tekanan hidrostatik glomerular.
      1) Kontriksi arteriol **aferen** menurunkan aliran darah dan **mengurangi** laju filtrasi glomerular.
      2) Konstriksi arteriol **aferen** menyebabkan terjadinya tekanan darah tambahan dalam glomerulus dan meningkatkan GFR.

   b. **Auto regulasi ginjal**. Mekanisme autoregulasi intrinsik ginjal mencegah perubahan aliran darah ginjal dan GFR akibat variasi fisiologis rerata tekanan darah arteri. Autoregulasi seperti ini berlangsung pada rentang tekanan darah lebar (antara 80 mmHg dan 180 mmHg).
      1) **Jika rerata tekanan arteri (normalnya 100 mmHg) meningkat, arteriol aferen berkontriksi** untuk menurunkan aliran darah ginjal dan mengurangi GFR. Jika rerata tekanan darah arteri menurun, terjadi vasodilatasi arteriol aferen untuk meningkatkan GFR. Dengan demikian, perubahan-perubahan mayor pada GFR dapat dicegah.
      2) Autoregulasi melibatkan mekanisme umpan balik dari reseptor-reseptor peregang dalam dinding arteriol dan dari apparatus jukstaglomerular.
      3) Disamping mekanisme autoregulasi ini, peningkatan tekanan arteri dapat sedikit meningkatkan GFR. Karena begitu banyak filtrat glomerular yang dihasilkan sehari, perubahan yang terkecil pun dapat meningkatkan haluaran urin.

   c. **Stimulasi simpatis**. Suatu peningkatan implus simpatis, seperti yang terjadi saat stres, akan menyebabkan kontriksi arteriol aferen, menurunkan aliran darah ke dalam glomerulus, dan menyebabkan **penurunan** GFR.
   d. **Obstruksi aliran urinaria** oleh batu ginjal atau batu dalam ureter akan meningkatkan tekanan hidrostatik dalam kapsul Bowman dan **menurunkan GFR**.
   e. **Kelaparan, diet sangat rendah protein, atau penyakit hati** akan menurunkan tekanan osmotik koloid darah sehingga **meningkatkan GFR**.

f. **Berbagai penyakit ginjal** dapat meningkatkan permeabilitas kapiler glomerular dan **meningkatkan GFR.**

5. **Komposisi** filtrat glomerular
   a. Filtrat dalam kapsul Bowman identik dengan filtrat plasma dalam hal **air dan zat terlarut dengan berat molekul rendah**, seperti glukosa, klorida, natrium, kalium, fosfat, urea, asam urat, dan kreatinin.
   b. Sejumlah kecil **albumin plasma** dapat terfiltrasi, tetapi sebagian besar diabsorpsi kembali dan secara nrmal tidak tampak pada urin.
   c. **Sel darah merah dan protein tidak difiltrasi**. Penampakannya dalam urin menandakan suatu abnormalitas. Penampakan sel darah putih biasanya menandakan adanya infeksi bakteri pada traktus urinaria bagian bawah.

b. Reabsorpsi tubulus

Sebagiam besar filtrat (99%) secara selektif direabsorpsi dalam tubulus ginjal melalui **difusi pasif gradient kimia atau listrik, transpor aktif terhadap gradient tersebut**, atau **difusi terfasilitasi**. Sekitar 85% natrium klorida dan air serta semua glukosa dan asam amino pada filtrat glomerulus diabsorpsi dalam **tubulus kontortus proksimal**, walaupun reabsorpsi berlangsung pada semua nefron.

1) Reabsorpsi ion natrium
   a. Ion-ion natrium ditranspor secara pasif melalui difusi terfasilitasi (dengan *carrier*) dari lumen tubulus kontortus proksimal ke dalam sel-sel epitel tubulus yang konsentrasi ion natriumnya lebih rendah.
   b. Ion-ion natrium ditranspor secara aktif dengan pompa natrium-kalium, akan keluar dari sel-sel epitel untuk masuk ke cairan interstisial di dekat kapiler peritubular.
2) Reabsorpsi ion klor dan ion negatif lain
   a. Kerena ion natrium positif bergerak secara pasif dari cairan tubulus ke sel dan secara aktif dari sel ke cairan interstisial peritubular, akan terbentuk ketidakseimbangan listrik yang justru membantu pergerakan pasif ion-ion negatif.
   b. Dengan demikian, ion klor dan bikarbonat negatif secara pasif berdifusi kedalam sel-sel epitel dari lumen dan mengikuti pergerakan natrium yang keluar menuju cairan peritubular dan kapiler tubular.
3) Reabsorpsi glukosa, fruktosa, dan asam amino
   a. *Carrier* glukosa dan asam amino sama dengan carrier ion natrium dan digerakkan melalui kotranspor.
   b. Maksimum transpor. Carrier pada membran sel tubulus memiliki kapasitas reapsorbsi maksimum untuk glukosa, berbagai jenis asam amino, dan beberapa zat tereabsorpsi lainnya. Jumlah ini dinyatakan dalam maksimum transpor (transport maximum [Tm]).

c. **Maksimum transpor** (Tm) untuk glukosa adalah jumlah maksimum yang dapat ditranspor (reabsorpsi) per menit, yaitu sekitar 200 mg glukosa/100 ml plasma. Jika kadar glokosa darah melebihi nilai Tm-nya, berarti melewati ambang plasma ginjal sehingga glukosa muncul di urin (glikosuria)

4) **Reabsorpsi air**. Air brgerak bersama ion antrium melalui osmosis. Ion natrium berpindah dari area berkonsentrasi air tinggi dalam lumen tubulus kontortus proksimal ke area berkonsentrasi air rendah dalam cairan interstisial dab kapiler peritubular.
5) **Reabsorpsi urea**. Seluruh urea yang terbentuk setiap hari difiltrasi oleh glomerulus. Sekitar 50% urea secara pasif direabsorpsi. Dengan demikian, 50% urea yang difiltrasi akan diekskresi dalam urin.
6) **Reabsorpsi ion organik lain**, seperti kalium, kalsium, fosfat, dan sulfat, serta sejumlah ion organic adalah melalui transpor aktif.

c. Mekanisme sekresi tubular

Adalah **proses aktif** yang memindahkan **zat keluar dari darah dan kapiler peritubular** melewati sel-sel tubular **menuju cairan tubular** untuk dikeluarkan dalam urin.

1. Zat-zat seperti ion hidrogen, kalium, dan omonium, produk akhir metabolic kreatinin dan asam hipurat serta obat-obatan tetentu (penisilin) secara aktif disekresikan kedalam tubulus.
2. Ion hidrogen dan ammonium diganti dengan ion natrium dalam tubulus kontortus distal dan tubulus pengumpul. Sekresi tubular yang selektif terhadap ion hidrogen dan ammonium membantu dalam pengaturan pH plasma dan keseimbangan asam basa cairan tubuh.
3. Sekresi tubular merupakan suatu mekanisme yang penting untuk mengeluarkan zat-zat kimia asing atau tidak diinginkan.

2. Konsep Klirens

a) Ginjal berfungsi untuk membersihkan plasma darah dari zat-zat buangan seperti urea dan buangan nitrogen nonprotein lain yang terbentuk sebagai hasil proses metabolic. Jika plasma tersaring saat melalui glomerulus dan bergerak melewati tubulus nefron, plasma akan menjadi bersih dari zat-zat yang tidak terabsorpsi ulang atau hanya sebagian terabsorpsi ulang.
b) **Plasma klirens**, dinyatakan dalam ml/menit, adalah volume darah per menit yang telah bersih dari zat. Volume ini dapat dihitung dengan memakai rumus berukut:

$$\text{Plasma klirens (ml / menit)} = \frac{\text{laju ekskresi urinaria (mg / menit)}}{\text{Konsentrasi plasma (mg / ml)}}$$

1) **Contoh plasma klirens terhadap urea**. Jika jumlah urea yang memasuki urin per menit adalah 12 mg (laju ekskresi urinaria) dan konsentrasi urea

dalam plasma 0,2 mg/ml (konsentrasi plasma), plasma klirens terhadap urea adalah 60 per menit.

2) Dengan demikian, hanya separuh lebih sedikit urea yang difiltrasi melalui glomerulus dalam setiap aliran yanga diekskresi dalam urin.

3. Konsentrasi Urin dan Mekanisme Pengenceran

a. Volume Urin

Volume urin yang dihasilkan setiap hari baervariasi dari 600 ml sampai 2.500 ml lebih.

1. Jika volume urin tinggi, zat buangan diekskresi dalam larutan encer **hipotonik (hipoosmotik) terhadap plasma**. Berat jenis urin mendekatiberat jenis air (sekitar 1,003).
2. Jika tubuh perlu menahan air, maka urin yang dihasilkan kental sehingga volume urin yang sedikit tetap mengandung jumlah zat buangan yang sama yang harus dikeluarkan. Konsentrasi zat terlarut lebih besar, **urin hipertonik (hiperosmotik) terhadap plasma**, dan berat jenis urin lebih tinggi (di atas 1,030).

b. Pengaturan Volume Urin

Produksi urune kental yang sedikit atau urin encer yang lebih banyak diatur melalui mekanisme hormone dan mekanisme pengkonsentrasi urin ginjal.

1. Mekanisme hormonal
   a. ***Antidiuretic hormone*** **(ADH)** meningkatkan permeabilitas tubulus kontortus distal dan tubulus pengumpul terhadap air sehingga mengakibatkan terjadinya reabsorpsi dan volume urin yang sedikit.
      1) **Sisi sintesis dan sekresi**. ADH disintesis oleh badan sel saraf serabut saraf hipofisis posterior. ADH kemudian dilepas sesuai implus yang sampai pada serabut saraf.
      2) **Stimulus pada sekresi ADH**
         a) Osmotik
            (1) Neuron hipotalamus adalah **osmoreseptor** dan sensitive terhadap perubahan konsentrasi ion natrium, serta zat terlarut lain dalam cairan intraselular yang menyelubunginya.
            (2) Peningkatan osmolaritas plasma, seperti yang terjadi saat dehidrasi, menstimulasi osmoreseptor untuk mengirim implus ke kelenjar hipofisis posterior agar melepas ADH. Air direabsorpsi kembali dari tubulus ginjal sehingga dihasilkan urin kental dengan volume sedikit.
            (3) Penurunan osmlaritas plasma mengakibatkan berkurangnya ekskresi ADH, berkurangnya reabsorpsi air dari ginjal, dan produksi urin encer yang banyak.

b) **Volume dan tekanan darah**. Baroreseptor dalam pembuluh darah (di vena, atrium kanan dan kiri, pembuluh pulmonary, sinus karotid, dan lengkungan aorta) memantau volume darah dan tekanan darah. Penurunan volume dan tekanan darah meningkat sekresi ADH; peningkatan volume dan tekanan darah menurunkan sekresi ADH.

c) **Faktor lain**. Nyeri, kecemasan, olah raga, analgesik narkotik, dan barbiturate meningkatkan sekresi ADH. Alcohol menurunkan sekresi ADH.

b. **Aldosteron** adalah hormone steroid yang disekresikan oleh sel-sel korteks kelenjar adrenal. Hormon ini bekerja pada tubulus distal dan duktus pengumpuluntuk meningkatkan absorpsi aktif ion natrium dan sekresi ion kalium. Mekanisme renin-angiostensin-aldosteron, yang meningkatkan retensi air dan garam.

2. **Sitem arus bolak-balik dalam ansa Henle dan vasa rekta** memungkinkan terjadinya reabsorpsi osmotik air dari tubulus dan duktus pengumpul kedalam cairan interstisial medularis yang lebih kental **dibawah pengaruh ADH**. Reabsorpsi air memungkinkan tubuh untuk menahan air sehimgga urin yang disekresiakan lebih kental disbanding cairan tubuh normal.

c. Sistem Arus Bolak-Balik Ganda dalam Ansa Henle

1. **Sistem arus bolak balik** adalah salah asatu sistem yang aliran masuknya (*inflow*) kedalam tuba berbentuk U (seperti ansa Henle) mengalir berdekatan dan secara pararel menuju arah berlawanan dengan aliran keluar (*outflow*) dari tuba. Sistem arus bolak-balik dibantu dengan transport aktif.
2. Karena filtrat glomerular iso-osmotik masuk dan mengalir melalui ansa Henle, filtrat tersebut akan semakin kental (hiperosmotik) dibagian dasar lengkungan (gambar 3):
   a. Tungkai **desenden** ansa Henle sangat permeable terhadap air dan relative impermeable terhadap zat terlarut seperti NaCl. Tungkai ini tidak secara aktif mentranspor setiap zat.
   b. Tungkai **asenden** impermeable terhadap air, tetapi permeabel terhadap NaCl. Ion klor secara aktif memompa filtrat keluar tungkai asenden menuju cairan interstisial peeritubular yang diikuti dengan aliran ion natrium karena tarikan listrik ion klor negatif. Hal ini meningkatkan konsentrasi osmotik NaCl dalam cairan interstisial.
   c. Akibat peningkatan osmolaritas cairan interstisial, air bergerak keluar tungkai desenden dan lengkung menuju cairan interstisial tubular melalui proses osmosis. Hal ini menyebabkan konsentrasi zat terlarut dalam cairan tubular lebih besar karena zat tersebut berbalik pada lengkung jepit ansa Henle. Osmolaritas cairan ini menungkat sampai mencapai konsentrasi

maksimum 1.200 miliosmol/l, empat kali lebih banyak dibandingkan konsentrasi normal cairan tubuh.

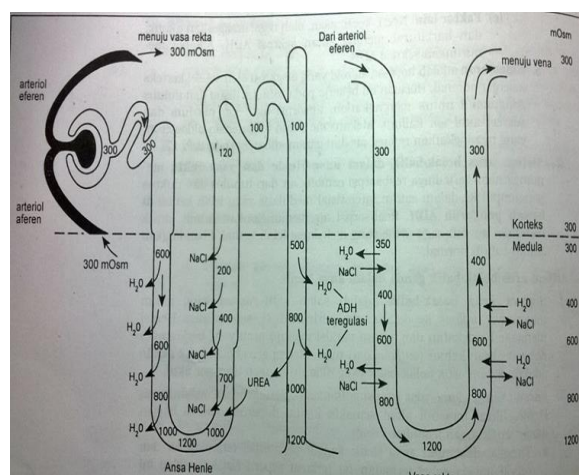
d. Karena filtrat bergerak di sepanjang tungkai asenden, kandungan ion natriumnya pun semakin berkurang. NaCl berdifusi secara pasif keluar lengkung di awal tungkai asenden dan secara aktif ditranspor keluar saat filtrat melewati tungkai asenden. Karena tungkai asenden impermeabel terhadap air, maka air tidak ikut keluar, dan cairan tubular kemudian menjadi lebih encer (hipo-osmotik) saat menanjak menuju korteks.

e. Sebagian NaCl yang keluar dari tungkai asenden ke cairan interstisial berdifusi kedalam tungkai desenden sehingga memperbesar konsentrasi zat terlarut dalam tungkai desenden. Juga, NaCl baru dalam filtrat glomerular terus bergerak kedalam inflow tubulus untuk dikeluarkan dari tungkai asenden ke cairan interstisial peritubular. Dengan demikian, meknisme daur ulang ini menggandakan konsentrasi NaCl.

f. Akibatnya adalah cairan interstisial yang menyelubungi ansa Henle mengandung garam berkonsentrasi tinggi, seperti halnya filtrat dalam ansa Henle. **Gradien konsentrasi vertical** dari korteks (iso-osmotik) ke medula (hiperosmotik) dapat dipertahankan.

3. **Daur ulang medularis terhadap urea** membantu mempertahankan gradien konsentrasi vertical dalam cairan interstisial ansa Henle.

   a. Urea berdifusi secara pasif keluar dari duktus pengumpul menuju cairan interstisial medular. Sebagian urea berdifusi dari cairan medularis ke dalam tungkai desenden.

   b. Dengan demikian, urea disirkulasi ulang di antara tubulus pengumpul dab tungkui desenden, konsentrasi tinggi urea dalam cairan interstisial medularis berkontribusi terhadap osmolaritasnya. Hal itu meningkatkan pergerakan osmotik air keluar dari tungkai desenden dan meningkatkan konsentrasi NaCl filtrat dalam tungkai desenden.

Gambar 3. Sistem Arus

d. Mekanisme Pertukaran Arus Bolak-Balik

Dalam pembuluh darah dan tubulus ginjal membantu mekanisme arus bolak-balik ganda. Jika sirkulasi darah mengeluarkan zat terlarut dari cairan ekstraselular medular, gradien konsentrasi tidak dapat dipertahankan. Gradien hiperosmolaritas vertical tidak terganggu dengan sirkulasi darah karena alas an berikut:

1. Kapiler **vasa rekta** berfungsi sebagai penukar arus bolak-balik karena aliran darah disekitar ansa Henle berlawanan arah aliran filtrat disekitar lengkung tersebut.
2. Dinding vasa rekta permeabel terhadap NaCl dan air. Saat darah mengalir menuruni pembuluh desenden vasa rekta y6ang pararel terhadap tungkai asenden tubulus, darah menjadi hiperosmotik karena darah menarik ion natrium da klor serta kehilangan sebagian air. Di dasar lengkung kapiler, osmolaritas plasma identik dengan osmolaritas yang menyelubungi cairan interstisial.
3. Ketika darah mengalir balik ke pembuluh asenden vasa rekta yang pararel dengan tungkai desenden tubulus, garam berdifusi kembali ke kapiler dan air juga masuk kembali ke pembuluh. Osmolaritas darah menurun karena darah mengalir menuju korteks.
4. Karena pertukaran pasif garam dan air diantara vasa rekta dan cairan interstisial medular serta fakta yang menunjukkan aliran darah dalam vasa rekta relatif lambat, darah yang meninggalkan medula hanya sedikit hiperosmotik terhadap darah arteri. Gradient konsentrasi dalam cairan ekstraselular medular dipertahankan.

e. Ekskresi Urin Kental

1. Filtrat hipo-osmotik (encer) dalam tungkai asenden ansa Henle masuk ke tubulus kontortus distal dan mengalir menuruni duktus pengumpul menuju ureter. Akibat sistem arus bolak-balik, cairan interstisial yang menyelubungi duktus pengumpul menjadi hiperosmotik dan terbentuk gradien konsentrasi yang diperlukan untuk osmosis air keluar dari duktus.
2. Duktus pengumpul impermeabel terhadap jika tidak ada ADH. Air akan keluar dari duktus pengumpul melalui osmosis jika ada ADH.
3. Ansa Henle yang panjang diperlukan agar sistem penggandaan dan pertukaran arus bolak-balik dapat bekerja. Ikan, tidak memiliki ansa Henle, dan binatang dengan ansa Henle yang pendek (berang-berang)

f. Ekekresi Urin Encer

Jika ADH tidak ada, duktus pengumpul hamper tidak tertembuk air. Reabsorpsi tambahan zat terlarut dalam tubulus distal dan bular sampai yang terendah antara 60 sampai 70 mOs/L. urin encer yang masuk ke pelvis ginjal akan diekskresikan.

4. Karakteristik Urin

a. *Komposisi.*

Urin terdiri dari 95% air dan mangandung zat terlarut berikut:

1. **Zat buangan nitrogen** meliputi urea dari deaminasi protein, asam urat dari katabolisme asam nukleat, dan kreatinin dari proses penguraian keratin fosfat dalam jaringan otot.
2. **Asam hipurat** adalah produk sampingan pencernaan sayuran dan buah.
3. **Badan keton** yang dihasilkan dalam metabolism lemak adalah konstituen normal dalam jumlah kecil.
4. **Elektrolit** meliputi io9n natrium, klor, kalium, ammonium, sulfat, fosfat, kalsium, dan magnesium.
5. **Hormon** atau **katabolit hormon** ada secara normal dalam urin.
6. **Berbai jenis toksin atau zat kimia asing, pigmen, vitamin, atau enzim** secara normal ditemukan dalam jumlah kecil.
7. **Konstituen abnormal** meliputi albumin, glukosa, sel darah merah, sejumlah besar badan keton, zat kapur (terbentuk saat zat mengeras dalam tubulus di keluarkan), dan batu ginjal atau kalkuli.

b. *Sifat fisik*

1. **Warna**. Urin encer berwarna kuning pucat, dan kuning pekat jika kental. Urin segar biasanya jerni dan menjadi keru jika did diamkan.
2. **Bau.** Urin memiliki bau yang khas dan cenderung berbau ammonia jika di diamkan. Bau ini dapat berfariasi sesuai dengan; misalnya setelah makan asparagus. Pada diabetes yang tidak terkontrol, aseton menghasilkan bau manis pada urin.
3. **Asiditas atau alkalitas**. pH urin bervariasi antara 4,8 sampai 7,5 dan biasanya sekitar 6,0, tetapi juga bergantung pada diet. Ingesti makanan yang berprotein tinggiakan meningkatkan asiditas, sementara diet sayuran meningkatkan alkalitas.
4. **Berat jenis urin** berkisar antara 1,001 sampai 1,035 bergantung pada konsentrasi urin.

5. Ureter, Kandung Kemih, dan Uretra

a. *Ureter*

adalah perpanjangan tubula berpasangan dan berotot dari pelvis ginjal yang merentang sampai kandung kemih.

1. Setiap ureter panjangnya antara 25 cm sampai 30cm dan berdiameter 4 mm sampai 6 mm. saluran ini menyempit di tiga tempat: di titik asal ureter pada pelvis ginjal, di titik saat melewati pinggiran pelvis, dan di titik pertemuannya dengan kandung kemih. Batu

ginjal dapat tersangkut dalam ureter di ketiga tempat ini, mengakibatkan nyeri disebut kolik ginjal.

2. Dinding ureter terdiri dari tiga lapiasan jaringan: lapusan terluar adalah lapiasan fibrosa, ditengah adalah muskularis longitudinal kea rah dalam dan otot polos sirkular kea rah luar, dan lapiasan terdalam adalah epitelium mukosa yang mengsekresi selaput mukus pelindung.
3. Lapisan otot memiliki aktifitas peristaaltik instrinsik. Gelombang pristalsik mengalirkan urin dari kandung kemih keluar tubuh.

b. Kandung kemih

Adalah organ muscular berongga yang berfungsi sebagai wadah penyimpanan urin.

1. **Lokasi**. Pada laki-laki, kandung kemih terletak tepat dibelakang simfisis pubis dan didepan rectum. Pada perempuan, organ ini terletak agak di bawah uterus di depan vagina. Ukuran organ ini sebesar kacang kenari terletak pelvis saat kosong; organ berbentuk seperti buah pir dan dapat mencapai umbilicus dalam rongga abmominopelvis jika penuh berisi urin.
2. **Struktur**. Kandung kemih ditopang dalam rongga pelvis dengan lipatan-lipatan peritoneum dan kondensasi fasia.
   a. **Dinding**. Kandung kemih terdiri dari 4 lapisan.
      1) **Serosa** adalah lapisan terluar . lapisan ini merupakan perpanjangan lapisan peritoneal rongga abdominopelvis dan hanya ada di bagian atas pelvis.
      2) **Otot detrusor** adalah lapisan tengah. Lapisan ini tersusun dari berkas-berkas otot polos yang satu sama lain saling membentuk sudut. Ini untuk memastikan bahwa selama urinasi, kandung kemih akan berkontraksi dengan serempak ke segala arah.
      3) **Submukosa** adalah lapisan jaringan ikat yang terletak di bawah mukosa dan menghubungkannya dengan muskularis.
      4) **Mukosa** adalah lapisan terdalam. Lapisan ini merupakan lapisan epitel yang tersusun dari epitelium transisional. Pada kandung kemih yang relaks, mukosa membentuk ruga (lipatan-lipatan),yang akan memipih dan mengembang saat urin berakumulasi dalam kandung kemih.

   b. **Trigonum** adalah area halus, triangular,dan relative tidak dapat berkembang yang terletak secara internal di bagian dasar kandung kemih. Sudut-sudutnya terbentuk dari tiga lubang. Di sudut atas trigonum, dua ureter bermuara ke kandung kemih. Uretra keluar dari kandung kemih dibagian apex trigonum.

c. Uretra

Mengalirkan urin dari kemih ke bagian eksterior tubuh.

1. Pada laki-laki, uretra membawa cairan semen dan urin, tetapi tidak pada waktu yang bersamaan. Uretra laki-laki panjangnya mencapai 20 cm dan melalui kelenjar prostat dan penis.
    a. **Uretra prostatik** dikelilingi oleh kelenjar prostat. Uretra ini menerima dua duktus ejakulator yang masing-masing terbentuk dari penyatuan duktus deferen dan duktus kelenjar vesikel seminal, serta menjadi tempat bermuaranya sejumlah duktus dari kelenjar prostat.
    b. **Uretra membranosa** adalah bagian yang terpendek (1 cm sampai 2 cm). bagian ini berbanding tipis dan dikelilingi otot rangka sfingter uretra eksternal.
    c. **Uretra kavernous (penile, bersepons)** merupakan bagian yang terpanjang. Bagian ini menerima duktus kelenjar bulbouretra dan merentang sampai **orifisium uretra eksternal** pada ujung penis. Tepat sebelum mulut penis, uretra membesar untuk membentuk suatu dilatasi kecil, **fosa navicularis.** Uretra kavernus dikelilingi **korpus spongiosum,** yaitu suatu kerangka ruang vena yang besar.
2. Uretra pada perempuan, berukuran pendek (3,75 cm). saluran ini membuka keluar tubuh melalui **orifisium uretra eksternal** yang terletak dalam vestibulum antara klitoris dan mulut vagina. Kelenjar uretrayang homolog dengan kelenjar prostat pada laki-laki, bermuara ke dalam uretra.
3. Panjangnya ureter laki-laki cenderung menghambat invasi bakteri ke kandung kemih (sistitis) yang lebih sering terjadi pada perempuan.

d. Perkemihan (urinasi)

Bergantung pada inervasi parasimpatis dan simpatis juga implus saraf volunter. Pengeluaran urin membutuhkan kontraksi aktif otot detrusor.

1. Bagian dari otot trigonum yang mengelilingi jalan keluar uretra berfungsi sebagai **sfingter uretra internal** yang menjaga saluran tetap tertutup. Otot ini diinnervasi oleh neuron parasimpatis.
2. **Sfingter uretra eksternal** terbentuk dari serabut otot rangka dari otot perineal transversa yang berada di bawah kendali volunteer. Bagian pubokoksigeus pada otot levator ani juga berkontribusi dalam pembentukan sfingter.
3. **Refleks perkemihan** terjadi saat peregangan kandung kemih sampai sekitar 300 ml sampai 400 ml urin menstimulasi reseptor peregang pada dinding kandung kemih.
    a. Implus pada medulla spinalis dikirim ke otak dan menghasilkan implus parasimpstis yang menjalar melalui saraf **splanknik pelvis** ke kandung kemih.
    b. Refleks perkemihan menyebabkan kontraksi otot detrusor; relaksasi sfingter internal dan eksternal mengakibatkan pengosngan kandung kemih.

c. Pada laki-laki, serabut simpatis menginervasi jalan keluar uretra dan mengkontraksi jalan tersebut untuk mencegah refluks semen kedalam kandung kemih saat orgasme.

4. Pencegahan refluks perkemihan melalui kendali volunteer sfingter eksternal adalah respons yang dapat dipelajari.
   a. Pencegahan volunteer bergantung pada integritas saraf terhadap kandung kemih dan uretra, traktus yang keluar dari medulla spinalis menuju dan dari otak, dan area motoric serebrum. Cadera pada lokasi ini dapat menyebabkan inkontinensia.
   b. Kendali volunteer urinasi (“latihan toileting”) adalah respons yang dapat dipelajari. Hal ini tidak dapat dilatih pada SSP yang imatur dan sebaiknya ditunda sampai paling tidak berusia 18 bulan.

F. KELAINAN, GEJALA, DAN PRINSIP TERAPI

1. Kelainan Gagal ginjal kronik (chronic kidney disease/CKD)

Pengertian gagal ginjal kronik adalah kondisi dimana saat fungsi ginjal mulai menurun secara bertahap. Kondisi ini bersifat permanen. Status CKD berubah menjadi gagal ginjal ketika fungsi ginjal telah menurun hingga mencapai tahap atau stadium akhir. CKD adalah penyakit yang umumnya baru dapat dideteksi melalui tes urin dan darah.

Gejala penyakit gagal ginjal kronik antara lain:

- Berkurangnya urin saat buang air
- Mual
- Muntah
- Hilang nafsu makan
- Lelah dan lemah
- Bermasalah dalam tidur
- Penurunan mental secara tajam
- Otot berkedut dan kencang
- Bengkak pada area kaki
- Timbul rasa gatal

Penyebab gagal ginjal kronik

Ada beberapa kondisi yang lebih tidak umum, tapi juga berisiko menyebabkan penyakit ginjal kronik yaitu:

1. Gangguan ginjal polisistik: Kondisi saat kedua ginjal berukuran lebih besar dari normal karena pertambahan massa kista. Kondisi ini bersifat di wariskan.
2. Peradangan pada ginjal
3. Infeksi pada ginjal
4. Penyumbatan, seperti yang disebabkan batu ginjal dan gangguan prostat

5. Penggunaan rutin obat-obatan tertentu dalam jangka panjang, seperti anti-inflamasi non-steroid (non-steroidal anti-inflammatory drugs/AIDS), termasuk asprin dan ibuprofen.
6. Lupus eritematosus sistemik (kondisi saat sistem kekebalan tubuh menyerang dan mengenali ginjal sebagai jaringan asing).
7. Kegagalan pertumbuhan ginjal pada janin saat dalam kandungan.

Prinsip Terapi

Terapi Farmakologi

1. Obat Tekanan Darah Tinggi
   Penderita gagal ginjal kronis dapat mengalami perburukan tekanan darah tinggi, sehingga tak jarang dokter merekomendasikan obat untuk menurunkan tekanan darah (hipertensi) biasanya berupa angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibitor (contohnya captopril) atau angiotensin II receptor blocker- dan mempertahankan fungsi ginjal. Obat tekanan darah tinggi pada awalnya dapat menurunkan fungsi ginjal dan mengubah kadar elektrolit, sehingga diperlukan periksa darah rutin dan pengawasan dari dokter.
   Disamping itu, Penderita Gagal Ginjal juga direkomendasikan untuk diet rendah garam.
2. Obat Penurunan Kolesterol
   Pasien gagal ginjal kronis sering mengalami kadar kolesterol jahat yang tinggi, untuk membuktikan hal itu diperlukan pemeriksaan darah kolesterol lengkap. Jika memang kolesterol tinggi dan kondisi ini dibiarkan saja, maka dapat meningkatkan risiko penyakit jantung. Oleh karena itu, diperlukan obat penurunan kolesterol , yang biasa dipakai yatu golongan statin. Contohnya: Simvastatin
3. Obat gagal ginjal untuk mengatasi anemia
   Dalam situasi tertentu, dimana pasien mengalami anemia akibat gagal ginjal kronik, diperlukan suplemen hormon erythropoietin, kadang-kadang di tambah dengan zat besi.
   Suplemen erythropoietin dapat meninduksi dan meningkatkan produksi sel darah merah, sehingga dapat meredakan kelelahan dan kelemahan yang disebabkan oleh anemia.
4. Obat gagal ginjal untuk mengatasi
   Pada gagal ginjal kronis terjadi penumpukan cairan dalam tubuh yang jumlah dapat berlebihan sehingga menimbulkan, terutama pada lengan dan kaki serta dapat menyebabkan tekanan darah tinggi. Obat yang disebut Diuretik dapat membantu menjaga keseimbangan cairan dalam tubuh dengan membuang cairan tersebut sehingga dapat menurunkan darah tinggi dan menghilangkan.
5. Obat gagal ginjal untuk melindungi tulang
   Dokter mungkin meresepkan suplemen kalsium dan vitamin D untuk mencegah pengeroposan tulang dan menurunkan risiko patah tulang. Anda juga dapat

mengambil obat untuk menurunkan jumlah fosfat dalam darah, sehingga meningkatkan jumlah kalsium yang tersedia bagi tulang.

Terapi non-Farmakologi

1. Diet rendah protein
   Diet rendah protein bertujuan untuk meminimalkan produk limbah dalam darah. Tubuh kita akan memproses protein dari makanan, pada proses tersebut terbentuk juga produk limbah dalam darah yang harus disaring oleh ginjal. Untuk meringankan pekerjaan ginjal, maka dokter biasanya merekomendasikan makan lebih sedikit protein. Dokter juga mungkin meminta Anda untuk berkonsultasi dengan ahli gizi yang dapat menyarankan cara untuk menurunkan asupan protein dengan tidak meninggalkan makan makanan yang sehat.
2. Penatalaksanaan penyakit ginjal stadium akhir
   Jika ginjal sudah tidak mampu lagi menyaring limbah dalam tubuh sehingga produk limbah tersebut membahayakan tubuh, dan Anda mengembangkan gagal ginjal lengkap atau hampir lengkap, itu artinya Anda memiliki penyakit ginjal stadium akhir. Pada saat ini obat-obat gagal ginjal tidak lagi berperan, yang di butuhkan yaitu hemodialisis (cuci darah) atau transplantasi ginjal.
   - Hemodialisis (Cuci darah)
     Hemodialisis atau cuci darah pada gagal ginjal kronik bertujuan untuk menghilangkan produk limbah dan cairan ekstra pada darah ketika ginjal tidak mampu melakukan fungsi-fungsi normalnya ini.
   - Transplantasi ginjal
     Jika Anda tidak memiliki kondisi medis yang mengancam jiwa selain gagal ginjal, maka transplantasi ginjal bisa menjadi pilihan untuk Anda. Transplantasi ginjal atau pencangkokan ginjal merupakan prosedur operasi atau pembedahan dengan menempatkan ginjal yang sehat dari donor ke dalam tubuh sebagai pengganti ginjal yang rusak. Transplantasi ginjal bisa berasal dari donor yang baru meninggal atau dari donor hidup.

2. Sistitis

Sistitis adalah inflamasi kandung kemih. Inflamasi ini dapat disebabkan oleh infeksi bakteri (biasanya Escherichia coli) yang menyebar dari uretra atau karena respons algerik atau akibat iritasi mekanis pada kandung kemih.

Gejala

Sering berkemih dan nyeri (disuria) yang dapat disertai darah dalam urin (hematuria).

Prinsip terapi

Pengobatan sistitis adalah dengan pemberian analgetik (anti nyeri) dan antibiotik.

RINGKASAN

- Sistem perkemihan merupakan suatu sistem dimana terjadinya proses penyaringan darah sehingga bebas dari zat-zat yang tidak diperlukan oleh tubuh dan menyerap zat-zat yang masih diperlukan. Zat-zat yang tidak diperlukan oleh tubuh larut dalam air dan dikeluarkan berupa urin (air kemih)

- Sistem Perkemihan terdiri atas :
  1) Dua ginjal (ren), yang mengeluarkan urin.
  2) Dua ureter, yang mengalirkan urin dari ginjal ke kandung kemih.
  3) Kandung kemih, sebagai penampung urin sementara.
  4) Uretra, yang mengeluarkan urin dari kandung kemih ke luar tubuh.

- Ginjal berbentuk seperti kacang merah, dan masing-masing seukuran kepalan tangan, ginjal memiliki panjang sekitar 11 cm , lebar 5 cm , tebal 3 cm dengan berat sekitar 130g.
- Ginjal tersusun oleh dua area utama yaitu korteks dan medula. Medula ini terdiri dari struktur kerucut yang disebut piramida ginjal.
- Ginjal berfungsi untuk :
  1) Ekskresi. Ginjal menyaring darah dan menghasilkan volume besar filtrat.
  2) Pengaturan volume dan tekanan darah.
  3) Pengaturan konsentrasi zat terlarut dalam darah.
  4) Pengaturan pH cairan ekstraseluler.
  5) Pengaturan sintesis sel darah merah.
  6) Pengaturan sintesis vitamin D.

- Ureter adalah tabung bagian dimana urin mengalir dari ginjal ke kandung kemih.
- Kandung kemih adalah salah satu bagian dari sistem perkemihan berupa kantung berotot serta memiliki kemampuan mengembang dan mengempis, kandung kemih ini berfungsi untuk menyimpan urin sementara.
- Uretra adalah tabung berotot berdinding tipis yang berfungsi untuk mengalirkan urin dari kandung kemih dan mengeluarkannya dari tubuh. Uretra pada wanita berbentuk lurus dan pendek, berjalan secara langsung dari leher kandung kemih ke luar tubuh. Sedangkan pada pria uretra jauh lebih panjang dan melengkung dari kandung kemih ke luar tubuh, melewati kelenjar prostat dan penis. Uretra pria memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai saluran untuk mengeluarkan urin dari kandung kemih dan saluran bagi semen dari organ reproduksi.
- Nefron adalah unit struktural dan fungsional dari ginjal, masing-masing ginjal mengandung lebih dari 1 juta unit kecil nefron. Masing-masing nefron terdiri dari satu renal corpusle dan satu tubulus renal. Semua renal corpuscle ditempatkan pada

korteks renal, sementara tubulus renal berawal dari korteks kemudian ke dalam medula sebelum kembali ke korteks.

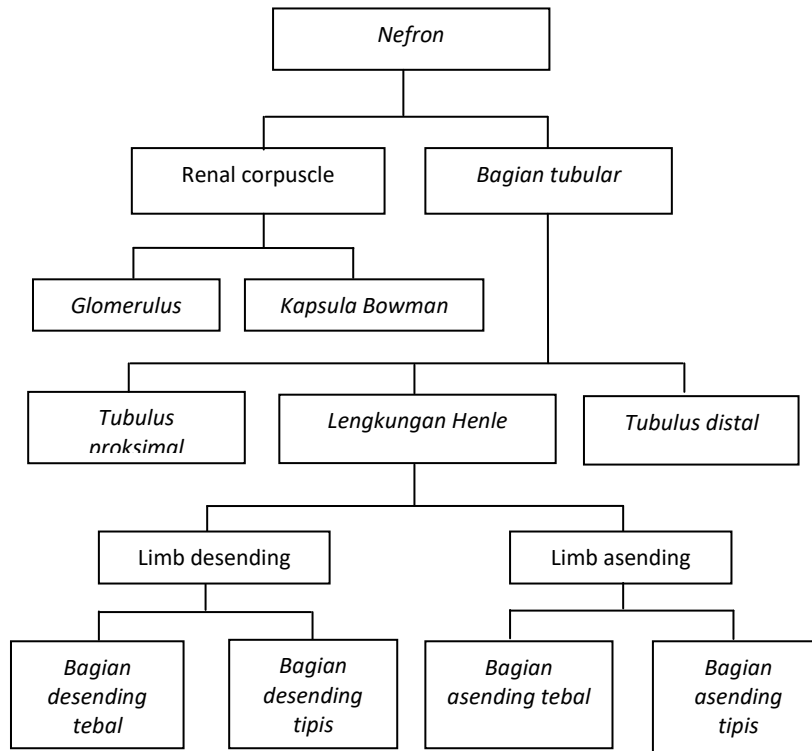
- Nefron tersusun dari :
  1) Kapsula Bowman, berfungsi untuk mengumpulkan filtrat glomerulus.
  2) Tubulus proksimal, dimana reabsorpsi dan sekresi tidak terkontrol dari zat-zat tertentu berlangsung disini.
  3) Lengkungan Henle, terdiri dari limb desending tipis dan limb asending tebal.
  4) Tubulus distal, dimana sekresi dan reabsorpsi tidak terkontrol zat-zat tertentu berlangsung disini.
  5) Duktus pengumpul, dimana reabsorpsi H2O dalam jumlah bervariasi berlangsung disini. Cairan meninggalkan tubulus pengumpul dalam bentuk urin, yang kemudian masuk ke pelvis ginjal.
  6) Arteriol eferen, yang berfungsi untuk mengangkut darah ke glomerulus.
  7) Arteriol aferen , yang berfungsi mengangkut darah dari glomerulus.
  8) Kapiler peritubular, yang memperdarahi jaringan ginjal serta berperan dalam pertukaran cairan di lumen tubulus.
  9) Vasa rekta, dan
  10) Glomerulus, yang menyaring plasma bebas protein ke dalam komponen tubulus.

- Pada ginjal terjadi tiga proses utama yaitu:
  1) Filtrasi glomerulus
     Pada saat darah mengalir melalui glomerulus, terjadi filtrasi plasma bebas protein menembus kapiler glomerulus ke dalam kapsula Bowman. Proses ini, yang dikenal sebagai filtrasi glomerulus, yang merupakan langkah pertama dalam pembentukan urin.
  2) Reabsorbsi tubular
     Pada proses ini, zat-zat yang masih diperlukan oleh tubuh akan direabsorpsi secara selektif, sedangkan zat-zat yang tidak dibutuhkan dieliminasi dalam bentuk urin.

Membran apikal	Membran basal
Tubulus proksimal *Zat disimpor* *dengan* *Na* $^{+}$ *Transpor aktif* K^{+} Cl Ca^{2+} Mg^{2+} HCO^{3-}	 Transpor Aktif Na^{+} (ditukar untuk K^{+}) *Difusi terfasilitasi* K^{+} Cl^{-} Ca^{2+} HCO^{3-} $PO4^{3-}$

Membran apikal	Membran basal
$PO4^{3-}$ Asam amino Glukosa Fruktosa Galaktosa Laktat Suksinat Sitrat *Difusi di antara sel nefron* K^+ Ca^{2+} Mg^{2+}	Amino Asam Glukosa Fruktosa Galaktosa Laktat Suksinat Sitrat *Difusi di antara sel nefron*

3. Sekresi tubular

Proses ini mengacu pada perpindahan selektif zat-zat dari kapiler darah peritubulus ke dalam lumen tubulus, merupakan rute kedua bagi zat dari darah untuk masuk ke dalam tubulus ginjal. Cara pertama zat berpindah dari plasma ke dalam lumen tubulus melaui filtrasi glomerulus. Namun, hanya 20% dari plasma yang mengalir melalui kapiler glomerulus disaring ke dalam kapsul Bowman; 80% sisanya terus mengalir melalui arteriol eferen ke dalam kapiler peritubulus. Beberapa zat mungkin secara diskriminasi dipindahkan dari plasma di kapiler peritubulus ke dalam lumen tubulus melalui mekanisme sekresi tubulus. Sekresi tubulus menyediakan suatu mekanisme yang dapat lebih cepat mengeliminasi zat-zat tertentu dari plasma dengan mengekstraksi lebih banyak zat tertentu dari 80% plasma yang tidak difiltrasi di kapiler peritubulus dan menambahkan zat yang sama ke jumlah yang sudah ada di dalam tubulus dari proses filtrasi.

Bagian-bagian nefron dapat dilihat pada bagan berikut :

- Laju filtrasi glomerulus (LFG) adalah proses pembentukan volume filtrat dalam setiap menit oleh aktivitas gabungan dari lebih 1 juta glomeruli ginjal. Laju filtrasi glumerolus (LFG) adalah 125 ml/menit atau sekitar 180 L/hari. LFG berbanding lurus dengan :
  - Tekanan filtrasi Netto (bersih) adalah faktor utama yang mengontrol. Dari tekanan penentu tekanan filtrasi netto, yang paling penting adalah tekanan hidrostatik di glomerulus.
  - Luas permukaan yang tersedia untuk filtrasi. Kapiler glomerulus memiliki luas permukaan besar (sama dengan luas permukaan kulit secara kolektif). Sel mesangial glomerulus sekitar kapiler ini dapat menyempurnakan LFG oleh kontraksi untuk menyesuaikan total luas permukaan yang tersedia untuk filtrasi.
- Permeabilitas membran filtrasi. Kapiler glomerulus ribuan kali lebih permeabel dibandingkan kapiler lain karena fenestrasinya.

Karakteristik urin

a. Warna dan transparansi segar yaitu berwarna kuning tua.
b. Bau urin segar sedikit aromatik tetapi jika didiamkan berkembang menjadi bau amonia bakteri.
c. pH urin biasanya sedikit asam pH sekitar 6 tetapi perubahan metabolisme tubuh atau diet dapat menyebabkan variasi pH dari sekitar 4,5-8,0.

***Komposisi urin**, terdiri dari:*

1) Urin terdiri dari sekitar 95% air.
2) Zat-zat sisa nitrogen dari hasil metabolisme protein, asam urea, amoniak dan kreatinin.
3) Elektrolit natrium, kalsium, NH3, bikarbonat, fosfat dan sulfat.
4) Pigmen (bilirubin dan urobilin).
5) Toksin dan hormon.

Mikturisi adalah pengosongan kandung kemih setelah terisi dengan urin. Aliran urin dari ginjal ke kandung kemih melalui ureter relatif terus menerus. Kandung kemih bertindak sebagai waduk untuk urin sampai dapat dikeluarkan secara relatif cepat di waktu dan tempat yang tepat. Kandung kemih dapat mengembang untuk mengakomodasi volume besar cairan; pada volume maksimum, dimana kandung kemih dapat berisi 1 L (sekitar 1 liter) urin, tapi seseorang mulai merasa tidak nyaman ketika volume urin melebihi sekitar 500 mL. Kapasitas kandung kemih untuk mengembang karena tiga faktor yaitu :

- Pertama, dinding kandung kemih mengandung banyak lipatan, mirip dengan abdomen, yang berfungsi untuk memperbesar lumen.
- Kedua, lapisan kandung kemih adalah epitel transisional, yang dapat membentang.
- Ketiga, dinding otot polos dari kandung kemih, kecuali trigonum, juga membentang untuk mengakomodasi cairan.

Klirens plasma adalah nilai yang dihitung mewakili volume plasma yang dibersihkan dari zat tertentu setiap menit. Klirens plasma dapat dihitung untuk setiap zat yang memasuki darah. Klirens plasma dapat digunakan untuk memperkirakan LFG suatu zat sesuai harus memiliki karakteristik seperti : melewati filtrasi dari ginjal molekulnya kecil, mudah diserap, dimetabolisme oleh ginjal.

TES

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Sistem perkemihan terdiri dari…..
   A. Satu ginjal, dua ureter, satu kandung kemih dan satu uretra
   B. Dua ginjal, satu ureter, satu kandung kemih dan dua uretra
   C. Satu ginjal, satu ureter, satu kandung kemih dan satu uretra
   D. Dua ginjal, dua ureter, satu kandung kemih dan satu uretra
   E. Dua ginjal, dua ureter, satu kandung kemih dan dua uretra

2) Yang mana dari pernyataan berikut ini yang bukan fungsi utama ginjal?
   A. Pengaturan volume darah
   B. Pengaturan konsentrasi solut dalam darah
   C. Pengaturan pH pada cairan extraselular

D. Pengaturan sintesis vitamin A
E. Pengaturan sintesis sel darah merah

3) Ginjal terletak pada…..
A. Diantara otot-otot pinggang dan peritoneum rongga abdomen atas
B. Diantara otot-otot pinggul dan peritoneum rongga abdomen bagian bawah
C. Diantaraotot-otot pinggang dan peritoneum rongga abdomen bagian bawah
D. Diantara otot-otot pinggul dan peritoneum rongga abdomen bagian atas
E. Di peritoneum rongga abdomen bagian bawah

4) Pada ginjal terdapat jaringan pembungkus yang diselubungi oleh tiga lapisan yaitu….
A. Fasia renal, lemak perirenal dan kapsul fibrosa
B. Fasia renal, lemak perirenal dan kapsul bowman
C. Arteri renal, lemak renal dan kapsul fibrosa
D. Arteri renal, lemak parirenal dan kapsul fibrosa
E. Fasia renal, tubulus distal dan kapsul fibrosa

5) Korteks ginjal terdiri dari
A. Hilus
B. Glomeruli
C. Jaringan adiposa
D. Piramida renal
E. Pelvis renal

6) Pada proses-proses berikut ini yang merupakan tugas fungsi ginjal
A. Filtrasi
B. Sekresi
C. Reabsorbsi
D. A dan B benar
E. Semuanya benar

7) Unit filtrasi terkecil ginjal adalah ..
A. Nefron
B. Kapsula Bowman
C. Tubulus Distal
D. Pelvis
E. Medula

8) Berikut ini yang terdapat dalam medula ginjal adalah
A. Badan malpigi
B. Glomerulus

C. Tubulus
D. Nefron
E. Peritoneum

9) Glukosa direabsorbsi dari filtrat saat dimana filtrat mencapai
A. Akhir tubulus proksimal
B. Ujung lengkungan Henle
C. Akhir tubulus distal
D. Akhir duktus pengumpul
E. Kapsula Bowman

10) Air meninggalkan nefron dengan
A. Tranport aktif
B. Filtrasi menuju jaringan kapiler
C. Osmosis
D. Tubulus distal

11) Penyakit yang disebabkan pembesaran seperti kiste (benjolan) pada sistem saluran ginjal yang merusak nefron di dalamnya ialah
A. Sistisis
B. Polisistik
C. Pielonefritis
D. Gagal Ginjal
E. Batu Ginjal

12) Sel Juxtaglomerulus mensekresikan.....
A. ADH
B. Angiostenin
C. Aldosteron
D. Renin
E. Histamin

13) Angiostenin II......
A. Suatu vasokonstriktor yang poten
B. Menstimulasi sekresi aldosteron
C. Menstimulasi ADH sekresi
D. Meningkatkan sensasi akan rasa haus
E. Semuanya benar

14) Urin yang telah terbentuk selanjutnya ditampung sementara di
    A. Pelvis renal
    B. Ureter
    C. Kandung kemih
    D. Uretra
    E. Kapsula Bowman

15) Berapakah jumlah filtrasi glomerular yang terbentuk pemenitnya……
    A. Pada laki-laki 150 ml/menit dan pada perempuan 110 ml/menit
    B. Pada laki-laki 125 ml/menit dan pada perempuan 120 ml/menit
    C. Pada laki-laki 110ml/menit dan pada perempuan 125 ml/menit
    D. Pada laki-laki 125 ml/menit dan pada perempuan 110 ml/menit
    E. Pada laki-laki 130 ml/menit dan pada perempuan 110 ml/menit

16) Urutan pembentukan urin yang benar dibawah ini adalah……
    A. Filtrasi glomerular, sekresi tubulus dan reabsorpsi tubulus
    B. Filtrasi glomerular, reabsorpsi tubulus dan sekresi tubulus
    C. Reabsorpsi tubulus, sekresi tubulus dan filtrasi glomerular
    D. Sekresi tubulus, filtrasi glomerular dan reabsorpsi tubulus
    E. Sekresi tubulus, reabsoprsi tubulus dan filtrasi glomerular

17) Darah memasuki hilum menuju ginjal melalui....
    A. Arteri renal
    B. Vena renal
    C. Nefron
    D. Tubulus proksimal
    E. Pelvis renal

Kunci Jawaban Tes

Tes

1) D
2) D
3) D
4) A
5) B
6) E
7) A
8) C
9) A
10) C
11) B
12) D
13) E
14) C
15) D
16) B
17) A

Daftar Pustaka

Gerard Tortora, 2014, Principles of Anatomy and Physiology,.

Sanders Tina, Scanlon Valerie, 2006, Essentials of Anatomy and Physiology,.

Saladin, 2003, Anatomy and Physiology The Unity of Form and Function.

Rizzo C Donald, 2015, Fundamentals of Anatomy and Physiology.

Marieb Elaine Nicpon, 2013, Human Anatomy and Physiology

Sherwood, 2014: Human, Physiology - From Cells to Systems

Seeley's, 2014, Anatomy & Physiology, Ed. Ke-10.

Gunstream Stanley, 2015, Anatomy and Physiology with Integrated Study.

Carson, The Anatomy and Physiology Learning System (4E).

Rodney Rhoades, David R Bell, 2013, Medical physiology principles for clinical medicine.

Sue Longenbaker, 2010,Understanding Human Anatomy and Physiology Ed. Ke-7.